
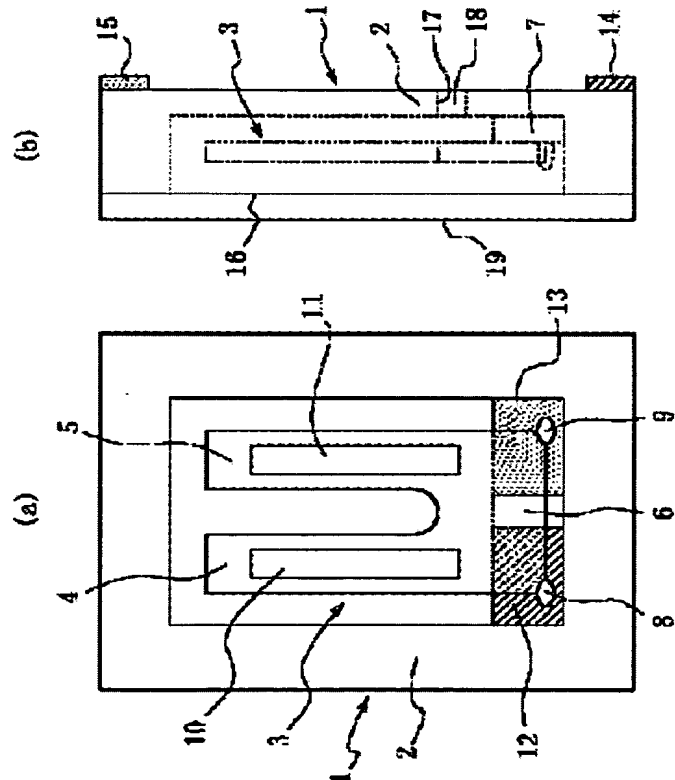


CRYSTAL UNIT AND PRODUCTION METHOD THEREFOR**Patent number:** JP2003204240**Publication date:** 2003-07-18**Inventor:** KAWASHIMA HIROFUMI**Applicant:** PIEDEKKU GIJUTSU KENKYUSHO KK**Classification:****- International:** H03H9/19; H01L41/09; H01L41/18; H01L41/22;
H03H3/04; H03H9/10**- european:****Application number:** JP20020060827 20020306**Priority number(s):** JP20010334978 20011031; JP20020060827 20020306**Also published as:** US2003080652 (A1)**Abstract of JP2003204240**

<P>PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a microminiaturized crystal unit packaged with a tuning fork shaped bending crystal vibrator having small equivalent serial resistance $R_{SB} < 1$ and a production method therefor.

<P>SOLUTION: Grooves are provided on the upper and lower surfaces of a central part holding the neutral line of a tuning fork arm and electrodes are provided in the relevant grooves and lateral sides such that electrical/mechanical conversion efficiency can be improved and the tuning fork shaped bending quartz resonator having the small equivalent serial resistance $R_{SB} < 1$ can be provided. By configuring such a resonator, the microminiaturized quartz unit can be provided. **<P>COPYRIGHT:** (C) 2003,JPO

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-204240

(P2003-204240A)

(43) 公開日 平成15年7月18日 (2003.7.18)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 3 H 9/19		H 0 3 H 9/19	K 5 J 1 0 8
H 0 1 L 41/09		3/04	B
41/18		9/10	
41/22		H 0 1 L 41/08	C
H 0 3 H 3/04		41/22	Z

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 22 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-60827 (P2002-60827)

(22) 出願日 平成14年3月6日 (2002.3.6)

(31) 優先権主張番号 特願2001-334978 (P2001-334978)

(32) 優先日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 500505197

有限会社ビエデック技術研究所

東京都中野区上高田1-44-1

(72) 発明者 川島 宏文
東京都中野区上高田1-44-1 有限会社
ビエデック技術研究所内

(74) 代理人 100072051

弁理士 杉村 興作 (外1名)

Fターム (参考) 5J108 AA02 BB02 DD05 EE06 EE17

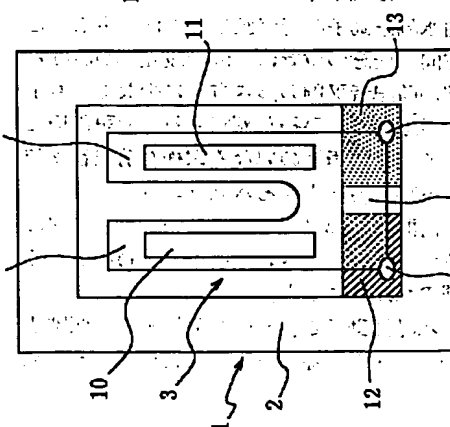
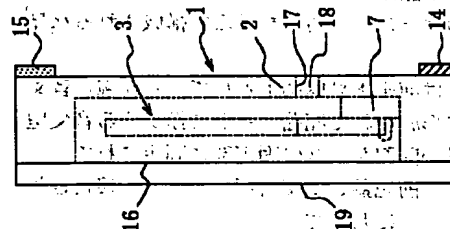
EE19 FF02 GG03 KK06

(54) 【発明の名称】 水晶ユニットとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 等価直列抵抗R₁の小さい音叉型屈曲水晶振動子を搭載した超小型の水晶ユニットとその製造方法を提供することにある。

【解決手段】 音叉腕の中立線を挟んだ中央部の上下面に溝を設け、当該溝と側面に電極を設けるので、電気機械変換効率が良くなり、等価直列抵抗R₁の小さい音叉型屈曲水晶振動子が得られる。本振動子を構成することにより超小型の水晶ユニットを得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、

前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が接着剤又は半田によって前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋は接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、

前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕と音叉基部との側面に電極が配置され、前記側面の電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が前記音叉腕の中立線を挟んで前記音叉腕から前記音叉基部まで延在して設けられた溝の側面に配置されている事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項 2】 各音叉腕の上下面の幅方向には各々 2 個の段差部が設けられ、前記 2 個の段差部には同極となる電極が配置され、前記各電極に対抗する側面に配置された電極は極性が異なる事を特徴とする請求項 1 に記載の水晶ユニット。

【請求項 3】 前記音叉腕の中立線を挟んだ幅方向略中央部の上下面に各々 1 個の溝が音叉基部まで延在して設けられ、前記上下面の溝には同極となる電極が、側面には前記溝の前記電極と異なる極の電極が配置されるとともに、一方の前記音叉腕と前記音叉基部との溝に配置された電極と、他方の前記音叉腕と前記音叉基部との側面に配置された電極とが同極とされ、更に、前記一方の音叉腕と音叉基部との側面に配置された電極と前記他方の音叉腕と音叉基部との溝に配置された電極とが同極とされた事を特徴とする請求項 1 に記載の水晶ユニット。

【請求項 4】 水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、

前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋とは接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、

前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の上下面の少なくとも 1 面には幅方向の任意の位置に 1 個の段差部が設けられ、その段差部が前記音叉腕の長さ方向に少なくとも 1 個延在し、前記段差部には電極が配置され、前記電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が前記音叉腕に配置されている事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項 5】 前記段差部は、前記音叉腕の長さ方向に階段部を有するか、又は分割されている事を特徴とする請求項 4 に記載の水晶ユニット。

【請求項 6】 水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、

前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉

基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋とは接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、

前記音叉基部には段差部と溝とが設けられていて、前記溝は前記段差部同士の間位置するように設けられ、前記段差部と前記溝の側面とには電極が配置され、前記段差部の前記電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が配置されている事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項 7】 複数の音叉型屈曲水晶振動子が前記水晶ユニットに収納されていて、その内の少なくとも 1 個が前記音叉型屈曲水晶振動子である事を特徴とする請求項 1 又は請求項 4 又は請求項 6 に記載の水晶ユニット。

【請求項 8】 各音叉型屈曲水晶振動子の間には仕切りが設けられている事を特徴とする請求項 7 に記載の水晶ユニット。

【請求項 9】 前記ケースにはセラミックス又はガラスが用いられるとともに、前記蓋にはガラス又は金属が用いられ、前記ケースと前記蓋との接合は前記接合部材としての低融点ガラス又は金属を用いてなされた事を特徴とする請求項 1 又は請求項 3 又は請求項 4 又は請求項 6 又は請求項 7 に記載の水晶ユニット。

【請求項 10】 前記ケースにはセラミック又はガラスが用いられるとともに、前記蓋にはガラスが用いられ、前記ケースと前記蓋とは前記接合部材としての低融点ガラスにて接合され、前記ケースには穴が設けられていて、前記穴は真空中で封止されている事を特徴とする請求項 1 又は請求項 3 又は請求項 4 又は請求項 6 又は請求項 7 に記載の水晶ユニット。

【請求項 11】 音叉型屈曲水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットの製造方法において、水晶ウエハから、音叉腕と音叉基部とを具えて構成される音叉形状を形成する工程と、

前記音叉腕又は前記音叉腕と前記音叉基部とに溝又は段差部を設ける工程と、

前記溝又は前記段差部とその溝又はその段差部に対抗する音叉腕の側面とに互いに異なる極性を有する電極を設けて音叉腕が逆相で振動するように音叉腕の前記電極同士を接続する工程と、

前記音叉基部を前記ケースの固定部に接着剤又は半田にて固定する工程と、

周波数を調整する工程と、

前記ケースと前記蓋とを接合する工程と、

を有することを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項 12】 前記ケースと前記蓋とを接合する工程の後、さらに前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整の後、前記ケースの穴を真空中で封止する工程を有することを特徴とする請求項 11 に記載の水晶ユニットの製造方法。

【請求項13】 前記音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止した後、さらに、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整する工程を有することを特徴とする請求項11又は請求項12に記載の水晶ユニットの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は音叉型屈曲水晶振動子を収納した水晶ユニットとその製造方法に関する。特に、小型化、高精度化、耐衝撃性、低廉化の要求の強い携帯機器用の基準信号源として最適な新電極形成を具えた水晶ユニットとその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】図28(a)および(b)は従来の音叉型屈曲水晶振動子100を収納した水晶ユニット101の、蓋を省略した状態での正面図および蓋付きの状態での側面図である。音叉型屈曲水晶振動子100は音叉腕102、103と音叉基部104を具えて構成されている。音叉基部104はケース105の固定部106に接着剤107、108等によって固定されている。又、固定部106には電極109、110が配置されている。蓋111は金属112を介して接合されている。従来の水晶ユニットはこのように構成されているが、水晶ユニットを小さくしようとすると水晶振動子も小型化が要求される。

【0003】図29には従来の音叉型屈曲水晶振動子外観図を示す。図29において水晶振動子113は2本の音叉腕114、115と音叉基部116を具えている。励振電極は音叉腕の表裏面と側面に配置されている。図30には図29の音叉腕の断面図を示す。音叉腕の断面形状は一般的には長方形をしている。一方の音叉腕の断面の上面には電極203が下面には電極204が配置されている。側面には電極205、206が設けられている。他方の音叉腕の上面には電極207が下面には電極208が更に側面には電極209、210が配置され2電極端子H-H構造を成している。

【0004】今、H-H間に直流電圧を印加すると電界は矢印方向に働く。その結果、一方の音叉腕が内側に曲がると他方の音叉腕も内側に曲がる。この理由は、x軸方向の電界成分E_xが各音叉腕の内部で方向が反対になるためである。交番電圧を印加することにより振動を継続することができる。又、例えば、特開昭56-65517と特開2000-223992(P2000-223992A)では、音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕に溝を設け、且つ、電極構成について開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】音叉型屈曲水晶振動子では、電界成分E_xが大きいかほど等価直列抵抗R₁が小さくなり、品質係数Q値が大きくなる。しかしながら、

従来から使用されている音叉型屈曲水晶振動子は、図30で示したように、各音叉腕の表裏側面の4面に電極を配置している。そのために電界が直線的に働かず、かかる音叉型屈曲水晶振動子を小型化させると、電界成分E_xが小さくなってしまい、等価直列抵抗R₁が大きくなり、品質係数Q値が小さくなるなどの課題が残されていた。

【0006】又、例えば、上記従来の特開昭56-65517では音叉腕に溝を設け、且つ、溝の構成と電極構成について開示している。しかしながら、溝の構成、寸法と振動モード並びに等価直列抵抗R₁との関係について、更には水晶ユニットとその製造方法についても全く開示されていない。このようなことから、小型の水晶ユニットを実現するには超小型で、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値が高くなるような新形状で、電気機械変換効率の良い電極配置構成を具える音叉型の屈曲水晶振動子とそれを具えて構成される水晶ユニットの製造方法とが所望されていた。

【0007】【課題を解決するための手段】本発明は、以下の方法で従来の課題を有利に解決した水晶ユニットとその製造方法を提供することを目的とするものである。

【0008】即ち、本発明の水晶ユニットの第1の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が接着剤又は半田によって前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋は接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕と音叉基部との側面に電極が配置され、前記側面の電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が前記音叉腕の中立線を挟んで前記音叉腕から前記音叉基部まで延在して設けられた溝の側面に配置されている水晶ユニットである。

【0009】本発明の水晶ユニットの第2の態様は、各音叉腕の上下面の幅方向には各々2個の段差部が設けられ、前記2個の段差部には同極となる電極が配置され、前記各電極と対抗する側面に配置された電極は極性が異なっている第1の態様に記載の水晶ユニットである。

【0010】本発明の水晶ユニットの第3の態様は、前記音叉腕の中立線を挟んだ幅方向略中央部の上下面に各々1個の溝が音叉基部まで延在して設けられ、前記上下面の溝には同極となる電極が、側面には前記溝の前記電極と異なる極の電極が配置されるとともに、一方の前記音叉腕と前記音叉基部との溝に配置された電極と、他方の前記音叉腕と前記音叉基部との側面に配置された電極とが同極とされ、更に、前記一方の音叉腕と音叉基部との側面に配置された電極と前記他方の音叉腕と音叉基部との溝に配置された電極とが同極とされた第1の態様に

記載の水晶ユニットである。

【0011】本発明の水晶ユニットの第4の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋とは接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の上下面の少なくとも1面には幅方向の任意の位置に1個の段差部が設けられ、その段差部が前記音叉腕の長さ方向に少なくとも1個延在し、前記段差部には電極が配置され、前記電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が前記音叉腕に配置されている水晶ユニットである。なお、この態様において、前記段差部が前記音叉基部にまで延在して設けられた水晶ユニットを構成しても良い。

【0012】本発明の水晶ユニットの第5の態様は、前記段差部は、前記音叉腕の長さ方向に階段部を有するか、又は分割されている第4態様に記載の水晶ユニットである。

【0013】なお、上記第4態様又は第5態様において、前記音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部を設けた水晶ユニットを構成しても良い。

【0014】本発明の水晶ユニットの第6の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋とは接合部材を介して接合されている水晶ユニットにおいて、前記音叉基部には段差部と溝とが設けられていて、前記溝は前記段差部同士の間位置するように設けられ、前記段差部と前記溝の側面とには電極が配置され、前記段差部の前記電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が配置されている水晶ユニットである。

【0015】本発明の水晶ユニットの第7の態様は、複数個の音叉型屈曲水晶振動子が前記水晶ユニットに収納されていて、その内の少なくとも1個が前記音叉型屈曲水晶振動子である第1態様又は第4態様又は第6態様に記載の水晶ユニットである。

【0016】なお、上記第7態様において、2個以上の前記音叉型屈曲水晶振動子が前記音叉基部で接続部を介して接続され、且つ、一体に形成されている水晶ユニットを構成しても良い。

【0017】本発明の水晶ユニットの第8の態様は、各音叉型屈曲水晶振動子の間には仕切りが設けられている第7態様に記載の水晶ユニットである。

【0018】本発明の水晶ユニットの第9の態様は、前

記ケースにはセラミックス又はガラスが用いられるとともに、前記蓋にはガラス又は金属が用いられ、前記ケースと前記蓋との接合は前記接合部材としての低融点ガラス又は金属を用いてなされた第1態様又は第3態様又は第4態様又は第6態様又は第7態様に記載の水晶ユニットである。

【0019】本発明の水晶ユニットの第10の態様は、前記ケースにはセラミック又はガラスが用いられるとともに、前記蓋にはガラスが用いられ、前記ケースと前記蓋とは前記接合部材としての低融点ガラスにて接合され、前記ケースには穴が設けられていて、前記穴は真空中で封止されている第1態様又は第3態様又は第4態様又は第6態様又は第7態様に記載の水晶ユニットである。

【0020】本発明の水晶ユニットの製造方法の第1の態様は、音叉型屈曲水晶振動子と、その水晶振動子を収納する表面実装型のケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットの製造方法において、水晶ウエハから、音叉腕と音叉基部とを具えて構成される音叉形状を形成する工程と、前記音叉腕又は前記音叉腕と前記音叉基部とに溝又は段差部を設ける工程と、前記溝又は前記段差部とその溝又はその段差部に対抗する音叉腕の側面とに互いに異なる極性を有する電極を設けて音叉腕が逆相で振動するように音叉腕の前記電極同士を接続する工程と、前記音叉基部を前記ケースの固定部に接着剤又は半田にて固定する工程と、周波数を調整する工程と、前記ケースと前記蓋とを接合する工程と、を有するものである。

【0021】本発明の水晶ユニットの製造方法の第2の態様は、前記ケースと前記蓋とを接合する工程の後、さらに前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整の後、前記ケースの穴を真空中で封止する工程を有する、本発明の水晶ユニットの製造方法の第1態様に記載のものである。

【0022】本発明の水晶ユニットの製造方法の第3の態様は、前記音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止した後、さらに、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整する工程を有する、本発明の水晶ユニットの製造方法の第1態様又は第2態様に記載のものである。

【0023】

【作用】このように、本発明は水晶ユニットとその製造方法で、音叉腕の側面の電極およびそれに対抗する異極の電極を持つ新しい形状と電極構成を有する音叉型屈曲水晶振動子、即ち例えば、音叉腕の中立線を挟んだ中央部に溝を設け、且つその溝に電極を配置した音叉型屈曲水晶振動子を採用することにより、電気的諸特性に優れた超小型の水晶ユニットを提供することができる。

【0024】加えて、音叉腕に設けた溝を、各音叉腕と連結する音叉基部の部分まで延在させることで、音叉基部における歪の量を著しく大きくさせることができる。と同時に、前記音叉基部の溝との間に更に溝を設けるの

で、歪の量をより著しく大きくさせることができる。これにより、本発明の水晶ユニットに搭載される音叉型屈曲水晶振動子は、等価直列抵抗 R_1 が小さくなり、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0025】更に、例えば、音叉腕の幅方向の位置に前記音叉腕の長さ方向に沿って1個の段差部を設け、その段差部に電極を配置し、その電極に対抗して極性の異なる電極が配置されているので、振動子の小型化が極めて容易に行えると同時に、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。その結果、超小型の水晶ユニットを得ることができる。

【0026】又、本発明の水晶ユニットは複数個の音叉型屈曲水晶振動子を収納し、これらの振動子は電気的に並列になるように電極が構成されるので、合成された等価直列抵抗を小さくすることができると同時に、周波数温度特性、即ち、頂点温度の異なる複数個の振動子を採用することにより、周波数温度特性を改善することができる。

【0027】更に、本発明で用いられる新形状と新電極構成を有する音叉型屈曲水晶振動子と水晶ユニットの製造方法を提供することにより、超小型で、品質に優れた、安価な水晶ユニットを実現することができる。

【0028】本発明の実施の形態以下に、本発明の実施の形態を

実施例によって図面にに基づき具体的に述べる。

【0029】図1(a)および(b)は本発明の水晶ユニットの第1実施例の、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。この実施例の水晶ユニット1はケース2と音叉型屈曲水晶振動子3と蓋19とを具えて構成されている。又、音叉型屈曲水晶振動子3は音叉腕4、5と音叉基部6とを具えて構成されていて、音叉基部6はケース2に設けられた固定部7に導電性接着剤8、9又は半田によって固定されている。更に、音叉腕4、5には溝10、11が設けられ、本実施例では、音叉腕に設けられた溝は音叉基部6にまで延在している。なお、本実施例及びその他の実施例の水晶ユニットの、ケース内に収納される音叉型屈曲水晶振動子の詳細については図2から図2-2で詳細に説明される。

【0030】又、固定部7には電極12、13が配置されていて、音叉基部6に配置された互いに異極となる電極にそれぞれ接続されている。即ち、2電極端子を構成している。更に、固定部7の電極12にはケース2の裏面の一方の端部にまで延在して配置され電極14と同極になるように構成される。これに対して、固定部7の電極13はケース2の裏面の他方の端部にまで延在して配置され電極15と同極になるように構成されている。又、ケース2と蓋19は接合部材16を介して接合され

ている。

【0031】なお、本実施例では、電極14と電極15とはケース2の互いに反対に位置する端部に設けられているが、電極14、15はケースの裏面の任意の位置に設けても良い。又、このケース2の裏面の電極構成は以下に述べられる実施例のケースについても適用されるものである。

【0032】更に、本実施例ではケース2に真空中で封止するための穴17が設けられていて、封止部材18で封止されている。又、本実施例では、ケースの材料としてセラミックス又はガラス、蓋の材料としてはガラス又は金属、又、ケースと蓋を接合する接合部材としては低融点ガラス又は半田を含む金属を用い、更に、ケースの穴を封止する封止部材としては同様に低融点ガラス又は半田を含む金属が用いられる。

【0033】又、本実施例では、ケース2に真空中で封止するための穴17が設けられているが、ケース2には真空封止用の穴17を設けなくて、ケースと蓋とを接合部材を介して真空中で直接封止しても良い。なお、本実施例のケースと蓋との構成は以下に述べられる他の実施例のケースと蓋にも適用されるものである。

【0034】図2は、ケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する蓋3とともに本実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子2-1の外観図とその座標系を示すものである。座標系 O 、電気軸 x 、機械軸 y 、光軸 z からなり O - xyz を構成している。本実施例の音叉型屈曲水晶振動子2-1は音叉腕2-2と音叉腕2-3と音叉基部2-4とから成り、音叉腕2-2と音叉腕2-3とは音叉基部2-4に接続されている。更に、音叉腕2-2の上面には中立線を挟んで溝2-5が設けられ、又、音叉腕2-3の上面には音叉腕2-2と同様に溝3-1が設けられている。なお、図2では音叉型屈曲水晶振動子2-1に配置された電極を省略して示し、角度 θ は、 x 軸廻りの回転角であり、通常、 $0 \sim 10^\circ$ の範囲で選ばれる。

【0035】図3は図2の音叉型屈曲水晶振動子2-1の断面図を示し、図4は図2の音叉型屈曲水晶振動子2-1の上面図を示す。ここでは、図2中の、音叉腕2-2のA-A'断面図を、図3において紙面の右側に示し、又、図2中の、音叉腕2-3のB-B'断面図を図3において紙面の左側に示す。音叉腕2-2の上下面には中立線3-7、(図4参照)を挟んで溝2-5、2-6が設けられている。

更に、溝2-5には電極2-7が、溝2-6には電極2-8が配置され、その側面には電極2-9、3-0が配置されていて、電極2-7、2-8と電極2-9、3-0とは異電極となるように構成されている。更に詳述するならば、各音叉腕の上下面の幅方向には各々2個の段差部が音叉腕の長さ方向に沿って設けられ、前記2個の段差部には同極となる電極が配置され、前記各電極と対抗する側面に配置された電極は極性が異なるように構成されている。と同時に、音叉腕2-2の溝2-5、2-6と電極2-7、2-8と側面

の電極 29, 30 とは音叉基部 24 にまで延在して設けられている。

【0036】音叉腕 23 の上下面にも音叉腕 22 と同様に中立線 38 (図 4 参照) を挟んで溝 31, 32 が設けられている。そして、溝 31 には電極 33 が、溝 32 には電極 34 が配置されている。更に、その側面には電極 35, 36 が配置されていて、電極 33, 34 と電極 35, 36 とは互いに異電極となるように構成されている。と同時に、音叉腕 23 の溝 31, 32 と電極 33, 34 と側面の電極 35, 36 とは音叉基部 24 にまで延在して設けられている。又、音叉腕 22 と音叉腕 23 との電極は図 3 に示すように接続されて、2 電極端子構造 C-C' を形成する。今、電極端子 C-C' 間に直流電圧を印加すると、音叉腕 22 と音叉腕 23 とには電界 E_x が各矢印方向に働く。この電界 E_x は音叉腕内で電極に垂直に、すなわち直線的に働くので、電界 E_x が大きくなり、歪の発生が大きくなる。その結果、音叉型屈曲水晶振動子 21 を小型化した場合でも損失等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0037】図 4 では溝 25, 31 の配置及び寸法などを詳述する。すなわち、この実施例の音叉型屈曲水晶振動子 21 には音叉腕 22 の中立線 37 を挟むようにして溝 25 が設けられ、他方の音叉腕 23 にも中立線 38 を挟んで溝 31 が設けられている。そして、それら溝 25 および溝 31 の幅 W_2 は、中立線 37 と中立線 38 とを挟んだ寸法とすることが好ましい。この理由は、屈曲モードを引き起こすとき、音叉腕 22, 23 の振動を容易にすることができるからである。これにより、等価直列抵抗 R_1 を小さくすることができ、品質係数 Q 値の高い振動子を実現できる。

【0038】更に、音叉腕 22, 23 の全幅 W は $W = W_1 + W_2 + W_3$ で与えられ、通常は $W_1 = W_3$ となるように設計される。又、溝幅 W_2 は $W_2 \geq W_1$ 、 W_3 を満足する条件で設計される。更に、具体的に述べると、溝幅 W_2 と音叉腕幅 W との比 (W_2/W) が 0.35 ~ 0.85 となるように形成される。このように形成することにより、音叉腕の中立線 37 と中立線 38 を基点とする二次慣性モーメントが大きくなる。即ち、電気機械変換効率が良くなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい、 Q 値の高い、しかも容量比の小さい音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0039】これに対して、溝 25 および溝 31 の長さ l_1 については、溝 25, 31 が、音叉腕 22, 23 から長さ l_2 の音叉基部 24 にまで延在し、その音叉基部 24 に延在する溝の長さが l_1 となるような寸法とされている。それ故、音叉腕 22, 23 とに設けられた溝の長さは、 $(l_1 - l_2)$ で与えられ、等価直列抵抗 R_1 の小さな振動子を得るために、0.4 ~ 0.7 の範囲内の値を有する。更に、音叉基部の歪量を大きくして、 R

1 を小さくし、且つ、支持、固定によるエネルギー漏れのない振動子を得るには音叉基部の溝の長さ l_1 と音叉基部の長さ l_2 との比が 0.04 ~ 0.78 の範囲内の値になるように溝 25, 31 が構成される。なお、本実施例では、溝の長さ l_1 の側面全部に電極が配置されている時には、 l_1 は電極の長さと同じ長さとする。また、音叉型屈曲水晶振動子 21 の全長 l は要求される周波数や収納容器の大きさなどから決定される。と同時に、基本波モードで振動する良好な音叉型屈曲水晶振動子を得るためには、以下で説明するように、溝の長さ l_1 と全長 l との間には密接な関係が存在する。

【0040】すなわち、音叉腕 22, 23 又は音叉腕 22, 23 と音叉基部 24 とに設けられた溝の長さ l_1 と音叉型屈曲水晶振動子 21 の全長 l との比 (l_1/l) が 0.2 ~ 0.68 の範囲内の値となるように溝の長さを設定している。このように形成する理由は、不要振動である 2 次高調波振動 (基本波周波数の約 6.3 倍の周波数) を抑圧することができるからである。それ故、基本波モードで容易に振動する良好な音叉型屈曲水晶振動子を実現できる。さらに詳述するならば、基本波モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子の等価直列抵抗 R_1 が 2 次高調波振動での等価直列抵抗 R_2 より小さくなる。即ち、 $R_1 < R_2$ となり、増幅器 (CMOS インバータ)、コンデンサ、抵抗、本実施例の水晶ユニット等から成る水晶発振器において、振動子が基本波モードで容易に振動する良好な水晶発振器が実現できる。

【0041】更に、図示されていないが、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子 21 は厚さ t の振動子で、溝の厚み t_1 を有している。本実施例では、溝の厚み t_1 と音叉腕又は音叉腕と音叉基部の厚み t との比 (t_1/t) が 0.05 ~ 0.79 の範囲内の値となるように、振動子 21 に溝が形成されている。このように形成することにより、音叉腕又は音叉腕と音叉基部の溝の側面電極とそれに対抗する側面の電極との間の電界 E_x が大きくなる。即ち、電気機械変換効率の良い、等価直列抵抗 R_1 の小さい振動子が得られる。

【0042】また、この実施例では、音叉基部 24 は、図 4 中、振動子 21 の長さ l_2 の下側部分全体とされ、又、音叉腕 22 及び音叉腕 23 は、図 4 中、振動子 21 の長さ l_2 の部分から上側の部分全体とされている。本実施例では音叉の叉部は矩形をしているが、本発明は前記形状に限定されるものではなく、音叉の叉部が U 字型をしていてもよい。この場合も、矩形の形状と同じように、音叉腕と音叉基部との寸法の関係は前記関係と同じである。更に、本実施例では、音叉基部の溝と側面とに電極を配置しているが、本発明はこれに限定されるものではなく、音叉基部の溝の側面に配置された電極 (側面電極) に対し x 軸方向 (幅方向) に隣接する、溝の側面電極と極性の異なる少なくとも 1 個の電極を音叉基部の

面上に配置しても良い。例えば、音叉基部の溝と溝との間に、隣接する溝の側面電極と極性の異なる2個の電極（例えば、図4に仮想線で示す電極25a, 31a）を面上に、又は4個の電極を上下面に配置しても良い。この場合、厚み方向の対抗電極は同極となるように構成される。このように構成することにより、音叉基部の歪量が大きくなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0043】図5は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第2実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子69の外観図とその座標系を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子69では、先に述べた第1実施例における音叉型屈曲水晶振動子21と同様に、音叉腕70と音叉腕76とに、溝71と溝77とがそれぞれ設けられるとともに、さらに、音叉基部90には、溝82と溝86とが溝71と溝77との間に設けられている。

【0044】図6は、図5の音叉型屈曲水晶振動子69の音叉基部90のD-D'断面図を示す。図6では図5の水晶振動子の音叉基部90の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕70と連結する音叉基部90には溝71, 72が設けられている。同様に、音叉腕76と連結する音叉基部90には溝77, 78が設けられている。更に、溝71と溝77との間には溝82と溝86とが設けられている。又、溝72と溝78との間には溝83と溝87とが設けられている。そして、溝71と溝72とには電極73, 74が、溝82と溝83とには電極84, 85が、溝86と溝87とには電極88, 89が、溝77と溝78とには電極79, 80が配置され、音叉基部90の両側面には電極75, 81が配置されている。

【0045】更に、電極75, 79, 80, 84, 85は一方の同極に、電極73, 74, 81, 88, 89は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子構造E-E'を構成する。即ち、z軸方向に対抗する溝の電極は同極に、且つ、x軸方向に隣接する電極は異極になるように構成されている。又、図示しないが音叉腕70, 76には第1実施例の音叉型屈曲水晶振動子21（図3参照）と同じ様に電極が配置されている。今、2電極端子E-E'に直流電圧を印加（E端子に正、E'端子に負）すると電界Exは図6に示した矢印のように働く。電界Exは水晶振動子の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界Exが大きくなり、その結果、発生する歪の量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0046】図7は図5の音叉型屈曲水晶振動子69の

上面図を示すものである。図7では溝71, 77の配置について特に詳述する。音叉腕70の中立線91を挟むようにして溝71が設けられている。他方の音叉腕76も中立線92を挟むようにして溝77が設けられている。更に、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子69では、音叉基部90の、溝71と溝77との間に挟まれた部分にも溝82と溝86とが設けられている。それら溝71, 77及び溝82, 86を設けたことで、音叉型屈曲水晶振動子69には、先に述べたように、電界Exが図6に示した矢印のように働き、電界Exは水晶振動子の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界Exが大きくなり、その結果、発生する歪の量も大きくなる。このように、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子69の形状と電極構成とは、音叉型屈曲水晶振動子を小型化した場合でも電氣的諸特性に優れた、即ち、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数Q値の高い水晶振動子を実現できる。尚、幅寸法 $W=W_1+W_2+W_3$ と長さ寸法 l, l_1, l_2 と厚み寸法 t, t_1 については先に述べた第1実施例と同様の寸法条件とすることが望ましく、これらの寸法条件は、既に図4の説明の際に詳述したので、ここでは省略する。

【0047】図8は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第3実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子145の上面図である。音叉型屈曲水晶振動子145は、音叉腕146, 147と音叉基部148とを具えて構成されている。即ち、音叉腕146, 147の一端部が音叉基部148に接続されている。本実施例では、音叉基部148にのみ複数の溝149, 151, 152が設けられている。又、図8には示されていないが、音叉基部148の裏面にも溝149, 150, 151, 152と対抗する位置に複数の溝が設けられている。又、溝149と溝150とは、音叉腕146と音叉腕147との各々の一端部が接続された音叉基部148内に設けられている。

【0048】更に、溝151と溝152とは、音叉基部148の、溝149と溝150との間に挟まれた部分に設けられている。また、図8では、電極配置及びその構成法は図示されていないが、前述の第2実施例において図6で説明した電極配置とその構成方法は同じである。このように溝149, 150, 151, 152を全て音叉基部148に設けるとともに第2実施例と同様の電極構成とすることにより、音叉基部148に発生する歪が大きくなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい音叉型屈曲振動子が得られる。

【0049】図9は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第4実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子153を示す上面図である。本実施例の

音叉型屈曲水晶振動子153は、音叉腕154、155と音叉基部156とを具えて構成されている。音叉腕154と音叉腕155とは、音叉基部156にまで延在して設けられた溝157と溝158とが存在する。又、音叉基部156の、溝157と溝158との間に挟まれた部分には、溝159が設けられている。

【0050】図10は、図9の音叉型屈曲水晶振動子153の音叉基部156のF-F'断面の形状を示すものである。ここでは、図9の水晶振動子153の音叉基部156の断面形状並びに電極配置について詳述する。図10に示すように、この実施例の水晶振動子153では、音叉腕154とその腕に連結する音叉基部156との上下面に溝157と溝160とが互いに対抗して設けられている。同様に、音叉腕155とその腕に連結する音叉基部156との上下面にも溝158と溝161とが互いに対抗して設けられている。更に、溝157と溝158との間には、溝159が設けられ、又、溝160と溝161との間には溝162が溝159に対抗して設けられている。

【0051】そして、溝157と溝160とは同極となる電極163と電極164とが、溝159と溝162とは、電極165、166と電極167、168とが、溝158と溝161とは、同極となる電極169と電極170とがそれぞれ配置され、音叉基部156の両側面（図10中紙面の左右方向に向く面）には、互いに異極となる電極171と電極172とが配置されている。しかも、溝157、158、159、160、161、162によって形成された音叉基部156の凸部を挟んで対抗して配置された電極は互いに異極となっている。即ち、電極165、167、169、170、171は一方の同極に、電極163、164、166、168、172は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子構造G-G'を構成する。これにより、溝159には異極となる電極165と電極166とが配置され、同様に、溝162にも異極となる電極167と電極168とが配置されることとなる。更に、x軸方向に隣接する溝の側面（段差部）に配置された対抗電極は異極となるように配置される。

【0052】即ち、本実施例では、溝159側の一方の側面（段差部）に配置された電極165とそれに対抗する側面（段差部）の電極173とは異極に、同様に、他方の側面（段差部）に配置された電極166とそれに対抗する側面（段差部）の電極174とは異極に、全く同様に、溝162側の一方の側面（段差部）の電極167とそれに対抗する側面（段差部）の電極175並びに、他方の側面（段差部）の電極168とそれに対抗する側面（段差部）の電極176とは互いに異極となるように配置されている。又、溝157とそれに対抗する厚さ（z方向）の溝160に配置された電極163と電極164とは同極になるように構成されている。全く同様

に、溝158とそれに対抗する厚さ（z方向）の溝161とに配置された電極169と電極170とは同極になるように構成される。更に、溝157、160、158、161に配置された電極163、164、169、170及び音叉基部156の側面の電極171と電極172とは、音叉基部156から音叉腕154、155まで延在して配置されている。

【0053】今、2電極端子G-G'間に交番電圧を印加すると電界Exは、図10中、実線と点線とで示した矢印方向に交互に働き、屈曲振動を引き起こす。又、電界Exは、溝の側面に配置された電極間に電極に対して垂直に、即ち直線的に生じるので、電界Exが大きくなり、且つ、音叉基部156にも溝159、162と電極165、166、167、168とが設けられているので、発生する歪の量が著しく大きくなる。即ち、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い屈曲水晶振動子が得られる。

【0054】図11は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第5実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子300の外観図とその座標系を示すものである。そして、図12は、図11の振動子300の上面図であり、又、図13は、図12の音叉型屈曲水晶振動子300のI-I'断面の形状を示す断面図である。図11に示すように、振動子300の座標系は水晶の結晶軸であるx軸（電気軸）廻りに回転角θ度回転されている。そして、水晶の結晶軸であるy軸（機械軸）およびz軸（光軸）の回転後の新軸はそれぞれy'軸又はz'軸とされており、かかる角度θは通常0°～10°の範囲内の角度に設定される。この音叉型屈曲水晶振動子300は、音叉腕301と音叉腕302と音叉基部303とを具えて構成された、厚さtを有するものである。さらに、音叉腕301には段差が設けられて、上面部301aと中面部301bとの間に段差部（上面部301aの内側面）304が形成され、その中面部301bおよび段差部304は音叉基部303にまで延在している。又、音叉腕302の上面にも音叉腕301と同様に図12及び図13に示すように中面部302bおよび段差部305が形成されている。そして、音叉基部303にも、上面部303a、中面部303b及び段差部306が形成されている。

【0055】即ち、図12に示すように、この振動子300の音叉腕301には幅方向の任意の位置に段差部304が、一方、音叉腕302には幅方向の任意の位置に段差部305が、それぞれ音叉基部303にまで延在して設けられ、それら段差部304及び段差部305は、音叉基部303の段差部306にそれぞれ接続されている。又、音叉腕の側面と段差部との間の寸法は音叉腕幅Wの半分以下が好ましい。このように寸法を構成するこ

とにより、電界 E_x を大きくすることができる。その結果、等価直列抵抗 R_s の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0056】さらに、図13に示すように、音叉腕301の下面にも上面と同様に段差が設けられて、下面部301cと中面部301dとの間に段差部307が形成され、その段差部307は音叉基部303にまで延在している。ここで、上面の段差部304は、音叉腕301の内側に向き、また、下面の段差部307は、音叉腕301の外側に向いている。そして、段差部304には電極308が、中面部301bにはその電極308に連なる電極309が配置されている。一方、段差部307には電極310が、中面部301dにはその電極310に連なる電極311が配置されている。また、音叉腕301の、段差部304に配置された電極308に対抗する側面（音叉腕301の上面部301aの外側面）には電極312が配置され、段差部307に配置された電極310に対抗する側面（音叉腕301の下面部301cの内側面）には電極313が配置されている。

【0057】このように電極を配置することにより、電界 E_x は電極308と電極312間及び電極310と電極313間でそれら電極に垂直に働く。これと同様に音叉腕302にも、音叉腕301と左右対称に段差が設けられて各電極が配置されている。即ち、音叉腕302の、上面と下面とは段差部305、314、上面部302a及び中面部302bが設けられ、段差部305には電極315が、中面部302bにはその電極315に連なる電極316が配置されている。又、段差部314には電極317が、中面部302dにはその電極317に連なる電極318が配置されている。更に、音叉腕302の、電極315に対抗する側面（音叉腕302の上面部302aの外側面）には電極319が、電極317に対抗する側面（音叉腕302の中面部302bの内側面）には電極320が配置されている。更に、電極構成について詳述すると、電極308、309、310、311、319、320は一方の同極に、電極312、313、315、316、317、318は他方の同極にされて2電極端子 $K-K'$ を構成している。

【0058】今、電極端子 $K-K'$ に交番電圧を印加すると、電界 E_x は図13の実線と点線との矢印で示すように電極間に垂直かつ交互に働き、屈曲振動を容易に引き起こすことができる。この結果、損失等価直列抵抗 R_s の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子を得られる。

【0059】なお、本実施例では、段差部は音叉腕から音叉基部にまで延在して設けられているが、音叉腕にのみ設けても良く、又は、音叉基部にのみ設けても良い。更に、音叉基部303にまで延在している下面の段差部307と段差部314との間に溝を設け、溝の側面の電極と対抗する電極とが異極となるように構成しても同様

の効果が得られる。

【0060】図14は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第6実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子321の外観図とその座標系を示すものである。そして、図15は、図14の振動子321の上面図であり、又、図16は、図15の音叉型屈曲水晶振動子321の $J-J'$ 断面の形状を示す断面図である。

なお、本実施例の座標系は図11に示す座標系と同じである。ここでの音叉型屈曲水晶振動子321は、音叉腕322と音叉腕323と音叉基部324とを具えて構成され、厚み t を有している。

【0061】さらに、音叉腕322には段差が設けられて、図14及び図16に示すように、上面部322a、中面部322b、中面部322d及び下面部322cが形成されるとともに、段差部（上面部322aの内側面）325が形成され、その中面部322bおよび段差部325は音叉基部324にまで延在している。又、音叉腕323の上面にも音叉腕322と同様に図15及び図16に示すように中面部323bおよび段差部326が形成されている。そして、音叉基部324にも、上面部324a、中面部324bおよび下面部324c（図示されていない）及び段差部327が形成されている。

【0062】即ち、図15と図16に示すように、音叉腕322および音叉腕323には段差部325と段差部326が設けられ、それら段差部325、326は、音叉基部324にまで延在し、段差部327に接続されている。さらに、音叉腕322の上面には段差部325と下面には段差部328とが設けられ、又、音叉腕323の上面には段差部326と下面には段差部329とが設けられている。

【0063】ここで、上面の段差部325および下面の段差部328は音叉腕322の内側に向き、上面の段差部326および下面の段差部329は音叉腕323の内側に向いている。そして、段差部325には電極330が、中面部322bにはその電極330に連なる電極331が配置され、又、段差部328には電極332が、中面部322dにはその電極332に連なる電極333が配置される。更に、音叉腕322の内側面には電極334が、音叉腕322の外側面には電極335が配置されている。これにより、電極330および電極332に対抗するように異極の電極335が配置されることとなる。

【0064】かかる音叉腕322と同様に、音叉腕323にも音叉腕322と左右対称に段差が設けられて各電極が配置されている。即ち、音叉腕323には、段差部326、329、上面部323a、中面部323b、中面部323d及び下面部323cが設けられ、段差部326には電極336が、中面部323bにはその電極336に連なる電極337が配置される一方、段差部32

9には電極338が、中面部323dにはその電極338に連なる電極339が配置されている。又、音叉腕323の内側面には電極340が、音叉腕323の外側面には電極341が配置されることから、電極336および電極338に対抗するように異極の電極341が配置された構成となる。さらに、図16に示すように、電極330、331、332、333、340、341は一方の同極に、電極334、335、336、337、338、339は他方の同極にされ、2電極端子L-L'を構成する。

【0065】今、2電極端子L-L'に交番電圧を印加すると、電界Exは図16の実線と点線との矢印で示すように電極間に垂直かつ交互に働き、屈曲振動を容易に引き起こすことができる。この結果、損失等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。なお、本実施例では、音叉腕322、323の内側に中面部322b、322d、323b、323dを設けているが、音叉腕322、323の外側に中面部を設けても同様の効果を有する。

【0066】又、本実施例では、中面部のある音叉腕の内側の両側面に電極334と電極340とが配置されているが、これらの電極は配置しなくとも良く、又は、各中面部の電極と同極になるように配置しても良く、前記効果と同様の効果を有する。

【0067】図17は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第7実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子351の上面図である。音叉腕352と音叉腕353との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が設けられている（下面の段差部は図示されていない）。図17では上面の段差部355と段差部356とが設けられている。更に、本実施例では、音叉腕352、353の外側に中面部355b、356bが設けられている。図示されていないが、中面部355d、356dは裏面にも設けられていて、段差部355と段差部356とは音叉基部354にまで延在して設けられている。また、音叉腕の電極配置については、図16と同じ様に配置されている。

【0068】図18は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第8実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子351aの上面図である。音叉腕352aと音叉腕353aとの上下面には、幅方向の任意の位置に段差部が音叉腕の長さ方向に延在して設けられている（下面の段差部は図示されていない）。図18では上面の段差部355aと段差部356aとが設けられていて、段差部355a、356aとは、音叉腕352a、353aの長さ方向に1個の階段部355eと階段部356eとを有するように設けられている。更に詳述するならば、音叉腕の上下面には、幅方向の任意の位置に各

々1個の段差部が設けられ、その段差部が音叉腕の長さ方向に1個延在して設けられ、前記段差部は音叉腕の長さ方向に1個の階段部を有している。ここで、「幅方向の任意の位置に1個の段差部」には、幅方向に厚みの異なる、いわゆる階段部を有する形状をも含むものである。なお、音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の上下面の少なくとも1面には幅方向の任意の位置に1個の段差部が設けられ、その段差部が音叉腕の長さ方向に少なくとも1個延在している構成であれば、本実施例の構成に限らず、後述する本実施例の効果と同様の効果を得ることができる。

【0069】更に、本実施例では、音叉腕352a、353aの外側に中面部355b、356bとが設けられている。図示されていないが、中面部355d、356dは裏面にも設けられていて、本実施例では段差部355aと段差部356aとは音叉基部354aにまで延在して設けられているが、音叉腕にのみ設けても良い。また、音叉腕の電極配置については、図16と同じ様に配置されている。

【0070】なお、本実施例では、音叉腕の長さ方向に1個の階段部が設けられているが、2個以上の複数の階段部を設けても良い。又、前記段差部は音叉腕の長さ方向に分割されていても良い。更に、本実施例の段差部及び階段部の構成は第5実施例～第7実施例及び以下に述べられる第9実施例と第10実施例の音叉型屈曲水晶振動子にも適用することができるのはもちろんである。

【0071】図19は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第9実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子357の上面図を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子357では、図17で述べた音叉型屈曲水晶振動子351と同様に、音叉腕358と音叉腕359との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が設けられている（下面の段差部は図20参照）。図19の実施例では、音叉腕358と音叉腕359とには、段差部361、362と中面部361b、362bとがそれぞれ設けられているとともに、さらに、音叉基部360には、溝363と溝364とが設けられている。また、本実施例では、段差部361と段差部362とは音叉基部360にまで設けられている。即ち、それら段差部361、362は、音叉腕358と音叉腕359の長さ方向に沿って設けられている。

【0072】図20は、図19の音叉型屈曲水晶振動子357の音叉基部360のM-M'断面図を示す。図20では図19の水晶振動子の音叉基部360の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕358、359とそれら音叉腕に連結する音叉基部360とには段差部361、362、365、366と中面部361b、362b、356d、366dとが設けられている。更に、段差部361と段差部362との間には溝363と

10

20

30

40

50

溝364とが設けられている。同様に、段差部365と段差部366との間には溝367と溝368とが設けられている。

【0073】そして、溝363、364、367、368の側面(段差部)を含む溝内に電極が配置されている。即ち、溝363と溝364とには電極369、370が、溝367と溝368とには電極371、372が配置されている。更に、段差部361と段差部362とには電極373、374が中面部361b、362bにそれぞれ連なるように配置されている。同様に、段差部365と段差部366とには電極375、376が中面部365d、366dにそれぞれ連なるように配置されている。また、音叉基部360の両側面には電極377、378が配置されている。

【0074】更に、電極369、371、374、376、377は一方の同極に、電極370、372、373、375、378は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子構造P-P'を構成する。即ち、z軸方向に対抗する溝電極は同極に、且つ、段差部の電極に対抗するx軸方向の電極は異極となるように構成されている。今、2電極端子P-P'に直流電圧を印加(P端子に正、P'端子に負)すると電界Exは図20に示した矢印のように働く。電界Exは段差部の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界Exが大きくなり、その結果、発生する歪量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0075】なお、本実施例では、音叉基部360の両側面に互いに極性の異なる電極377と電極378とが配置されているが、これらの電極は配置しなくても良く、又は、隣接する中面部の電極と同極となるように配置しても良い。このように電極を配置しても、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0076】図21は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第10実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子379の上面図を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子379では、図17で述べた音叉型屈曲水晶振動子351と同様に、音叉腕380と音叉腕381との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が音叉腕の長さ方向に延在して設けられている(下面の段差部は図22参照)。図21の実施例では、音叉腕380と音叉腕381とには、段差部383、384と中面部383b、384bとがそれぞれ設けられているとともに、さらに音叉基部382に、溝385が設けられている。また、本実施例では、段差部383と段差部384とは音叉基部382にまで

延在して設けられている。

【0077】図22は、図21の音叉型屈曲水晶振動子379の音叉基部382のN-N'断面図を示す。図22では図21の水晶振動子の音叉基部382の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕380、381とそれら音叉腕に連結する音叉基部382とには段差部383、384、386、387と中面部383b、384b、386d、387dとが設けられている。更に、段差部383と段差部384との間には溝385が設けられている。同様に、段差部386と段差部387との間には溝388が設けられている。

【0078】そして、溝385、388の側面(段差部)を含む溝内に電極が配置されている。即ち、溝385には電極389と電極390とが配置され、極性が異なるように構成されている。同様に、溝388には極性の異なる電極391と電極392とが配置されている。更に、段差部383と段差部384とには電極393、394とが中面部383b、384bにそれぞれ連なるように配置されている。同様に、段差部386と段差部387とには電極395、396が中面部386d、387dにそれぞれ連なるように配置されている。また、音叉基部382の側面には電極397、398が配置されている。

【0079】更に、電極389、391、394、396、397は一方の同極に、電極390、392、393、395、398は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子U-U'を構成する。即ち、各溝内には互いに極性の異なる電極が配置されていて、段差部の電極に対抗する電極は異極になるよう構成されている。今、2電極端子U-U'に交番電圧を印加すると、電界Exは図22に示した実線と点線の矢印方向に働く。電界Exは段差部の側面と溝内の側面とに配置された電極により、電極に垂直に、即ち、直線的に引き出せるので、電界Exが大きくなり、その結果、発生する歪量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0080】なお、本実施例では、音叉基部382の両側面に異極となる電極397と電極398とが配置されているが、これらの電極は配置しなくても良く、又は、隣接する中面部の電極と同極となるように配置しても良い。又、この電極構成は音叉腕の両外側側面にも適用できる。このように電極を配置することにより、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い、より超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。又、本発明の上記第5実施例～第10実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子では、音叉腕の上下面、即ち4面に段差部が設けられているが、音叉腕の上下面の少なくとも1面に幅方向の任意の位置に1個の段差部を音

叉腕の長さ方向に延在して設けても良い。

【0081】図23は本発明の第11実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。この実施例の水晶ユニット400はケース401と、図2で示された前記第1実施例の音叉型屈曲水晶振動子21と同じ溝構成と電極配置とを有する2個の音叉型屈曲水晶振動子402、403と、図示しない蓋とを具えて構成されている。又、一方の音叉型屈曲水晶振動子402は音叉腕404、405と音叉基部406とを具えて構成されている。同様に、他方の音叉型屈曲水晶振動子403は音叉腕407、408と音叉基部409とを具えて構成されていて、音叉型屈曲水晶振動子402の音叉基部406と音叉型屈曲水晶振動子403の音叉基部409とは接続部410を介して一体に形成されている。更に、水晶振動子402と水晶振動子403とは角度 ϕ にて形成され、通常、角度 ϕ は $0^\circ \sim 30^\circ$ に設定される。なお、角度 $\phi = 0^\circ$ でも製造のバラツキにより異なる頂点温度を有する振動子を得ることができる。

【0082】ここで、「一体に形成」とは、水晶ウエハから音叉型屈曲水晶振動子が切り離されたとき、複数個の音叉型屈曲水晶振動子が音叉基部で接続部を介して接続、形成されているものをいい、更に、この構成の振動子をケースの固定部に接着剤等で固定した後、接続部を切り離したものの「一体に形成」に含まれる。

【0083】また、音叉基部406、409はケース401に設けられた固定部411の複数の個所に導電性接着剤412、413、414、415又は半田によって固定されている。なお、本実施例では4個所で固定しているが、少なくとも2個所以上であれば良い。更に、音叉腕404、405には溝416、417が、音叉腕407、408には溝418、419とが設けられ、本実施例では、音叉腕に設けられた溝は音叉基部406、409にまで延在しているが、音叉腕のみに溝を配置しても良い。

【0084】又、固定部411には4個の電極420、421、422、423が配置されていて、音叉基部406、409にそれぞれ配置された互いに異極となる電極にそれぞれ接続されている。即ち、本実施例では、音叉型屈曲水晶振動子402と音叉型屈曲水晶振動子403とがそれぞれ2電極端子を構成している。更に、本実施例の電極構成の変形例としては、少なくとも2個の電極、例えば、電極421と電極422とが共通の電極（1個の電極）になるように構成しても良い。

【0085】更に、図示されていないが、固定部411の4個の電極420、421、422、423はケース401の裏面にまで延在して配置されている。又は、少なくとも前記電極の2個が共通電極となり、裏面には3個の電極又は2個の電極が配置されている。

【0086】さらに詳述するならば、音叉型屈曲水晶振動子402と音叉型屈曲水晶振動子403とが電氣的に

並列になるようにケースの裏面の電極は構成される。即ち、2個の音叉型屈曲水晶振動子402、403を電気信号により励振させた時に、両振動子が電氣的に並列に接続されている電極の構成を電氣的に並列な構成と言う。

【0087】このように両音叉型屈曲水晶振動子402、403に角度 ϕ を持たせると、両水晶振動子にそれぞれ異なる周波数温度特性を持たせる事ができる。即ち、頂点温度の異なる音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。更に、これらの水晶振動子を電氣的に並列に接続することにより、音叉型屈曲水晶振動子の周波数温度特性を改善することができる。良好な周波数温度特性を得るためには、両振動子402、403の周波数差は30ppm以内にすることが好ましい。また、図24に、両音叉型屈曲水晶振動子402、403の電氣的な接続図を示す。

【0088】図25に上記音叉型屈曲水晶振動子402、403を具える本実施例の水晶ユニットの周波数温度特性の一例を示す。図23の、一方の振動子402が温度特性430を、他方の振動子403が温度特性431を有する場合、電氣的に並列に接続されると両水晶振動子の周波数温度特性は曲線432のようになる。即ち、本実施例の音叉型屈曲振動子は、曲線432に示すような周波数温度特性を有することとなり、これにより、温度変化に対して周波数変化の少ない安定した特性の水晶振動子とすることができる。この結果、本実施例の水晶ユニットは超小型で、しかも、周波数温度特性に優れた水晶ユニットを実現できる。

【0089】図26は本発明の第12実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。この実施例の水晶ユニット450はケース451と、前記第1実施例の音叉型屈曲振動子21と同じ溝と電極構成とを有する2個の音叉型屈曲水晶振動子452、453と、図示しない蓋とを具えて構成されていて、2個の振動子452、453は接続部455を介して一体に形成されている。又、ケース451には両水晶振動子452、453の振動の干渉を防止する仕切り454が両振動子452、453の間に設けられている。又、仕切り454の高さは、ケース451の高さと同じか、それより低くなるように設けられている。

【0090】又、本実施例では、2個の音叉型屈曲水晶振動子452、453の振動の干渉を防止する仕切り454がケース451に連なるように設けられているが、両水晶振動子452、453との間に両水晶振動子と一体になるように形成しても両水晶振動子の振動の干渉を防止することができる。更に、本実施例の溝や電極等の構成は図示されていないが、図23と全く同じ様に構成されている。

【0091】なお、第11実施例と第12実施例では、水晶ユニットのケースに収納される、一体に形成された

2個の音叉型屈曲水晶振動子は、先の第1実施例の水晶ユニットのケースに収納される音叉型屈曲水晶振動子を用いて説明したが、これらの実施例の水晶ユニットのケースに収納される2個の音叉型屈曲水晶振動子は、第2実施例～第10実施例の音叉型屈曲水晶振動子を用いても良く、又はそれら振動子を組み合わせて形成したものでも良く、又は2個の振動子のうちの少なくとも1個に、第1実施例～第10実施例の音叉型屈曲水晶振動子を用いる事により、図25で述べられた効果と同じ効果を得ることができる。

【0092】即ち、2個の音叉型屈曲水晶振動子を電気的に並列に接続することにより、周波数温度特性の改善ができ、温度に対して周波数変化の小さい水晶ユニットを得ることができる。と同時に、両水晶振動子の等価直列抵抗 R_1 が同じとき、合成される等価直列抵抗は約半分になる。このように、損失抵抗の小さい音叉型屈曲水晶振動子を用いる水晶ユニットが実現できる。なお、上記第11実施例と上記第12実施例に用いられるケースと蓋とは上記第1～10実施例で述べられたケースと蓋と同じ様に構成されている。

【0093】次に、本発明の水晶ユニットの製造方法の実施例について、図面に記載の工程に従って述べる。図27は上記実施例の水晶ユニットを製造するための、本発明の製造方法の一実施例の工程図である。記号S-1からS-12は工程の番号を示す。まず、S-1では水晶ウエハ40（断面図で示す）が準備される。次に、S-2ではその水晶ウエハ40の上面と下面に金属膜（例えば金）41が蒸着又はスパッタリングにより形成される。更に、S-3では前記金属膜41の上にレジスト42が塗布される。そして、フォトリソ工程により、それら金属膜41とレジスト42とが音叉形状を残して除去された後、エッチング加工により、S-4で示される音叉腕43、44と音叉基部45とを具えた音叉形状が形成される。なお、図27では1個の音叉形状の形成について示したが、同様に、1枚の水晶ウエハ上に多数個の音叉形状が形成される。

【0094】次に、S-2とS-3の工程で示したと同様の金属膜とレジストがS-4の音叉形状に塗布されて、フォトリソ工程とエッチング加工により、S-5で示される音叉腕43および音叉腕44に溝46、47、48、49が形成される。更に、S-5に金属膜とレジストが塗布されて、フォトリソ工程により極性が異なる電極がS-6で示されるように形成される。

【0095】即ち、音叉腕43の側面に配置された電極50、53と音叉腕44の溝48、49に配置された電極55、56は同極となるように接続形成される。同様に、音叉腕43の溝46、47に配置された電極51、52と音叉腕44の側面に配置された電極54、57は同極となるように接続形成される。更に詳述するならば、溝の側面（段差部）と対抗する音叉腕の側面に互い

に異なる極性を有する電極が配置されているので、音叉腕は逆相で屈曲振動をする。

【0096】本実施例では、S-3の工程から音叉形状を形成し、その後、音叉腕に溝を形成しているが、本発明は前記実施例に限定されるものではなくて、S-3の工程からまず溝を形成し、その後に音叉形状を形成しても良い。又は、音叉形状と溝を同時に形成しても良い。更に、S-4からS-5の工程で音叉腕と音叉基部とに溝を形成しても良い。又、本実施例では溝を形成しているが、溝の代わりに、段差部と中面部とを形成しても良い。

【0097】次の工程は矢印で示されるAとBの2つの方法がある。Aはケースに穴がない場合で、Bは穴がある場合である。まずAの工程では形成された音叉型屈曲水晶振動子60の音叉基部45がS-7で示されるように、ケース58の固定部59に導電性接着剤61又は半田にて固定される。次に、S-8では水晶振動子60の周波数がレーザ62又は蒸着にて所要の値に調整され、最後に、S-9で示すように、ケース58と蓋63とが低融点ガラス64又は半田などの金属を介して接合される。この場合はケース58は真空封止用の穴を持たないので、接合は真空中で行われる。図示されていないが、更に、周波数の偏差を小さくするために、S-9の後にレーザで周波数調整をしても良い。

【0098】次にBの工程では、S-10で音叉型屈曲水晶振動子60の音叉基部45がケース65の固定部59に導電性接着剤61又は半田にて固定される。次に、S-8と同じ様にして周波数調整が行われ、更に、S-11では、ケース65と蓋63がS-9と同じ方法で接合される。更に、真空中で周波数調整が行われ、最後に、S-12では、ケース65に設けられた穴67が真空中で低融点ガラスや半田などの金属66を用いて封止される。このように、本実施例では、S-10の工程の後とS-11の工程の後とに周波数調整が行われるが、少なくともどちらか一方の工程の後に周波数調整をしても良い。又、Aの工程と同じように、周波数の偏差を小さくするために、S-12の後にレーザで周波数調整をしても良い。

【0099】本実施例では、1個の音叉型屈曲水晶振動子を用いる水晶ユニットの製造方法について説明したが、2個以上（複数個）の振動子を用いる水晶ユニットの場合も同じ工程で製造される。即ち、S-3の工程から接続部を介して音叉基部で接続される2個以上（複数個）の音叉形状を形成し（S-4）、更に、S-5では両音叉腕に溝又は両音叉腕と両音叉基部とに溝を形成し、S-6では各音叉型屈曲水晶振動子は逆相で振動するように、更に、両音叉型屈曲水晶振動子の電極は両振動子が電気的に並列になるように配置され、A工程（S-7～S-9）又はB工程（S-10～S-12）にて形成される。更に、周波数の偏差を小さくするために、

S-9又はS-12の後にレーザで両振動子の周波数調整を行っても良い。

【0100】上記方法で製造された本発明の水晶ユニットは、超小型で、品質に優れた、安価な水晶ユニットを実現することができる。

【0101】以上、図示例に基づき説明したが、この発明は上述の例に限定されるものではなく、例えば、上記第2実施例及び第4実施例の水晶ユニットにおける音叉型屈曲水晶振動子では、その音叉腕に設ける溝が音叉基部にまで延在して形成されるとともに音叉基部に形成される溝が、前記音叉基部に設けられた溝と溝との間に更に設けられて、かかる構成の溝の電極構成について述べているが、音叉基部の溝と連なる音叉腕の溝及び音叉腕の側面にも上記第1実施例の水晶ユニットにおける音叉型屈曲水晶振動子と同様に電極が配置されている。

【0102】更に、本発明の第5実施例～第10実施例では音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部を音叉腕の長さ方向に直線になるように設け、段差部と音叉腕の側面に電極が対抗して配置されていて、前記対抗電極は互いに極性が異なるように構成されている音叉型屈曲水晶振動子を示しているが、段差部は音叉腕の長さ方向に曲線になるように設けても良い。同時に、音叉腕が逆相で振動するように電極は構成される。更に、本発明の上記実施例では溝を音叉腕、又は音叉腕と音叉基部とに設けているが、溝の代わりに穴を設けても良い。

【0103】又、上記第1実施例～第4実施例、第9実施例及び第10実施例では、音叉型屈曲水晶振動子に溝として2個の対向する段差部（段差部4個）がその端部で接続されるような構成の形状（上面図で四角形）が示されているが、本発明に適用できる溝の形状はこれに限定されるものではない。即ち、本発明に適用できる溝の形状は、少なくとも2個の段差部からなる形状を有するものを含むものであり、音叉腕又は音叉基部の長さ方向に延在する段差部を有する、例えば三角形以上の多角形のような形状や円弧を含む形状をも包含するものである。と同時に、長さ方向に対向する段差部の片方の端部同士が段差部を介して接続されている形状をも溝として包含するものである。

【0104】更に、上記実施例では、音叉基部と固定部とを導電性接着剤又は半田によって固定されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、音叉基部とケースの固定部とに配置された金属同士を原子間結合による固定法を用いても良い。

【0105】又、上記実施例の音叉型屈曲水晶振動子は音叉腕2本から構成されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、音叉腕が3本以上であっても良い。

【0106】更に、本発明の水晶ユニットの上記第1、12実施例では、周波数温度特性の異なる音叉型屈

曲水晶振動子を得るために、両振動子の間に角度 ϕ を持たせているが、異なる周波数温度特性を得るために、各振動子の寸法を異なるように形成しても良い。

【0107】又、上記第11実施例と上記第12実施例では、一体に形成された2個の音叉型屈曲水晶振動子が水晶ユニットに収められているが、本発明はこれに限定されるものでなく、一体に形成される2個以上のいわゆる複数個の音叉型屈曲水晶振動子を用いても良い。これに加えて、これらの実施例では、2個の音叉型屈曲水晶振動子は各振動子の音叉基部の側面で接続部を介して一体に形成されているが、本発明では、音叉基部の側面での接続部を介しての、一体形成に限定されるものではなく、音叉基部での接続部を介しての、一体形成であればいかなる形状での接続、一体形成をも包含するものである。

【0108】更に、上記第11実施例と上記第12実施例では、2個の音叉型屈曲水晶振動子が水晶ユニットに収納されているが、本発明の水晶ユニットはこれに限定されるものではなく、少なくとも1個の音叉型屈曲水晶振動子が収納されていれば良い。即ち、異なる振動モードの振動子、又はフィルタ又は発振器を複数個収納しても良い。例えば、音叉型屈曲水晶振動子と厚みすべりモード振動子又は幅縦モード振動子又はラメモード振動子又は振りモード振動子又はMCFフィルタ又はTCXOやVCOである。なお、上記実施例の水晶振動子は化学的エッチング法を用いて形成される。

【0109】

【発明の効果】以上述べたように、本発明の水晶ユニットとその製造方法によれば、次の如き著しい効果が得られる。

(1) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設けることにより、電界が垂直に働く。その結果、電気機械変換効率が良くなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

(2) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設け、当該溝に電極を配置し、かかる溝が音叉基部にまで延在しているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

(3) 等価直列抵抗 R_1 の小さい超小型の音叉型屈曲水晶振動子が搭載されるので、超小型の水晶ユニットが高品質で実現できる。

(4) 搭載される音叉型屈曲水晶振動子が超小型であるので、体積の小さい水晶ユニットが得られる。即ち、軽い水晶ユニットが得られる。

(5) 水晶ユニットの製造方法が簡単であるので、工数が少なく安価な水晶ユニットが実現できる。

(6) 音叉基部で振動子を固定部に固定できるので、作業性に優れ、安価な水晶ユニットが得られる。

(7) 水晶ユニットの内部は真空中であるので、振動に

よる振動損失が少なくなる。その結果、等価直列抵抗 R_1 の小さい水晶ユニットが得られる。

(8) ケースにはセラミックス又はガラスを、また蓋にはガラス又は金属を用いているので、信頼性の高い水晶ユニットが得られる。

(9) ケースと蓋の接合には低融点ガラス又は半田などの金属が用いられているので、信頼性が高く、且つ、作業性が良いので、安価な水晶ユニットが実現できる。更に、穴を封止する部材として低融点ガラス又は半田が用いられているので、品質に優れた水晶ユニットが得られ

る。
(10) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設け、当該溝に電極を配置し、かかる溝が音叉基部にまで延在し、更に、当該溝の間にさらに溝を設けているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。又、本振動子が搭載されるので、超小型の水晶ユニットが高品質で実現できる。

(11) 音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に段差を設けることにより形成される段差部に電極が配置され、前記電極に対抗する音叉腕の側面には前記電極と極性の異なる電極が配置されているので、電気機械変換効率が非常に良くなる。その結果、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が実現できる。又、この振動子が搭載された超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

(12) 音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に段差部を音叉腕の長さ方向に延在して設け、当該段差部に電極を配置し、かかる段差部が音叉基部にまで延在し、更に、当該段差部との間にさらに溝を設けているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。又、本振動子を搭載した超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

(13) 音叉腕の上下面の幅方向に段差部を設けているので、十分な電気機械変換効率を維持したまま音叉腕の幅を著しく小さくできる。即ち、より小型化が可能である。それ故、極めて小型化された水晶ユニットが実現できる。

(14) 複数の音叉型屈曲水晶振動子を一体に形成し、更に、電極的に並列に接続されるので、等価直列抵抗 R_1 が小さくなる。例えば、2個の場合で同じ等価直列抵抗 R_1 を有する時、本発明の振動子では約半分の等価直列抵抗になる。即ち、複数の振動子を搭載することにより、小さい等価直列抵抗を持った水晶ユニットが実現できる。

(15) 一体に形成された複数の音叉型屈曲水晶振動子が搭載されるので、何らかの理由でそれらのうちの1個が破損しても、水晶ユニットとしての機能を維持することができる。

(16) 複数の音叉型屈曲水晶振動子が、別々の各ユニットのケースに収納されるのではなく、同じユニットのケースに収納されるので、安価な水晶ユニットが実現できる。と同時に、これらの振動子を電気的に並列に接続することにより、周波数温度特性に優れた水晶ユニットが得られる。

(17) 音叉型屈曲水晶振動子をエッチング法によって形成できるので、量産性に優れ、1枚の水晶ウエハ上に多数個の振動子を一度にパッチ処理にて形成できるので、安価な音叉型屈曲水晶振動子が実現できる。更に、本振動子が搭載されるので安価な水晶ユニットが実現できる。

(18) 本発明の振動子は音叉形状に加工され、固定部で固定されるので、固定部等への固定による振動エネルギー損失が小さくなり、耐衝撃性に優れた水晶ユニットが得られる。

(19) 音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止後、更に、レーザで周波数調整をするので、周波数偏差の小さい水晶ユニットが得られる。

(20) 音叉型屈曲水晶振動子の音叉寸法と溝との関係を示すことにより、2次高調波振動を抑えた基本波モードで振動する、しかも、等価直列抵抗 R_1 の小さい超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。その結果、超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) および (b) は本発明の水晶ユニットの第1実施例の、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。

【図2】 上記第1実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の外観図とその座標系である。

【図3】 図2の音叉腕のA-A'断面図とB-B'断面図である。

【図4】 図2に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図5】 本発明の第2実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の概観図とその座標系である。

【図6】 図5の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部のD-D'断面図である。

【図7】 図5の音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図8】 本発明の第3実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図9】 本発明の第4実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図10】 図9の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部のF-F'断面図である。

【図11】 本発明の第5実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の概観図とその座標系である。

【図12】 図11に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面

図である。

【図13】 図12の音叉腕のI-I'断面の形状を示す断面図である。

【図14】 本発明の第6実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の外観図とその座標系である。

【図15】 図14に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図16】 図15の音叉腕のJ-J'断面の形状を示す断面図である。

【図17】 本発明の第7実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図18】 本発明の第8実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図19】 本発明の第9実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図20】 図19の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部のM-M'断面図である。

【図21】 本発明の第10実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。

【図22】 図21の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部のN-N'断面図である。

【図23】 本発明の第11実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。

【図24】 図23の音叉型屈曲水晶振動子の電気的な接続図である。

【図25】 上記第11実施例の水晶ユニットの周波数温度特性の一例を示す関係線図である。

【図26】 本発明の第12実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。

【図27】 本発明の水晶ユニットの製造方法の一実施例の工程図である。

【図28】 (a) および (b) は従来の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。

【図29】 従来の音叉型屈曲水晶振動子を座標系とともに示す斜視図である。

【図30】 図29に示す従来の音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕を示す断面図である。

【符号の説明】

x, y, z 水晶の結晶軸

1, 101, 400, 450 水晶ユニット

2, 58, 65, 105, 401, 451 ケース

3, 21, 60, 100, 69, 145, 153, 30

0, 321, 351, 351a, 357, 379, 40

2, 403, 452, 453 音叉型屈曲水晶振動子

4, 5, 22, 23, 43, 44, 102, 103, 1

14, 115, 70, 76, 146, 147, 154,

155, 301, 302, 322, 323, 352, 3

53, 352a, 353a, 358, 359, 380,

381, 404, 405, 407, 408 音叉腕

6, 24, 45, 90, 104, 116, 148, 15

6, 303, 324, 354, 354a, 360, 38

2, 406, 409 音叉基部

7, 59, 106, 411 固定部

8, 9, 61, 412, 413, 414, 415 導電性接着剤

10, 11, 25, 25a, 26, 31, 31a, 3

2, 46, 47, 48, 49, 71, 72, 77, 7

8, 82, 83, 86, 87, 149, 150, 15

1, 152, 157, 158, 159, 160, 16

1, 162, 363, 364, 367, 368, 38

5, 388, 416, 417, 418, 419 溝

12, 13, 14, 15, 27, 28, 29, 30, 3

3, 34, 35, 36, 50, 51, 52, 53, 5

4, 55, 56, 57, 73, 74, 75, 79, 8

0, 81, 84, 85, 88, 89, 109, 110,

163, 164, 165, 166, 167, 168, 1

69, 170, 171, 172, 173, 174, 17

20 5, 176, 203, 204, 205, 206, 20

7, 208, 209, 210, 308, 309, 31

0, 311, 312, 313, 315, 316, 31

7, 318, 319, 320, 330, 331, 33

2, 333, 334, 335, 336, 337, 33

8, 339, 340, 341, 369, 370, 37

1, 372, 373, 374, 375, 376, 37

7, 378, 389, 390, 391, 392, 39

3, 394, 395, 396, 397, 398, 42

0, 421, 422, 423 電極

30 19, 63, 111 蓋

16 接合部材

18 封止部材

θ , ϕ 角度

37, 38, 91, 92 音叉腕の中立線

S-1~S-12 工程の番号

40 水晶ウエハ

42 レジスト

62 レーザ

64 低融点ガラス

40 66, 112 金属

67, 17 穴

107, 108 接着剤

113 水晶振動子

E_x x軸方向の電界

E_z z軸方向の電界

A-A', B-B', D-D', F-F', I-I',

J-J', M-M', N-N' 断面記号

C-C', E-E', G-G', H-H', K-K',

L-L', P-P', U-U' 電極端子

50 W₂ 溝幅

31

32

W 音叉腕の全幅

 W_1, W_2 音叉腕の部分幅 l_1 溝の長さ l_2 音叉基部の長さ l_3 音叉基部の溝の長さ l 音叉型屈曲水晶振動子の全長 t 振動子の厚み t_1 溝の厚み R_1, R_2 等価直列抵抗

Q 品質係数

410, 455 接続部

430, 431 音叉型屈曲水晶振動子の周波数温度特性

性

454 仕切り

41 金属膜

304, 305, 306, 307, 314, 325, 3

26, 327, 328, 329, 355, 356, 35

5a, 356a, 361, 362, 365, 366, 3*

* 83, 384, 386, 387 段差部

301a, 302a, 303a, 322a, 323a,

324a 上面部

301b, 301d, 302b, 302d, 303b,

322b, 322d, 323b, 323d, 324b,

355b, 356b, 355d, 356d, 361b,

362b, 365d, 366d, 383b, 384b,

386d, 387d 中面部

301c, 302c, 322c, 323c, 324c

10 下面部

355e, 356e 階段部

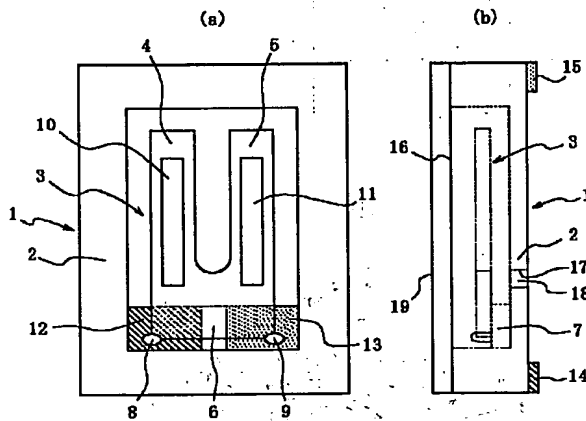
【外1】

⊕ 正極

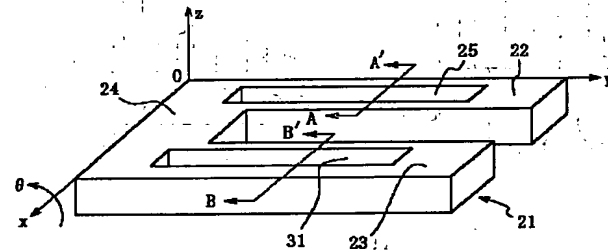
⊖ 負極

【外2】

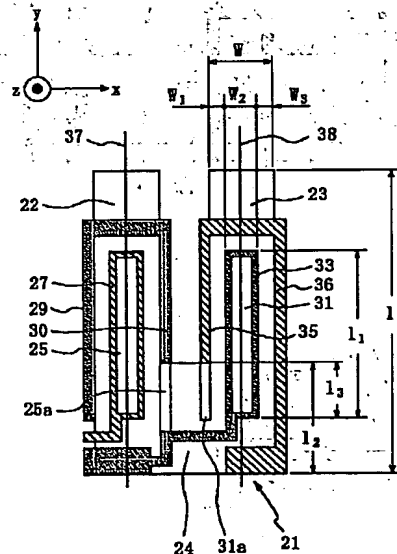
【図1】



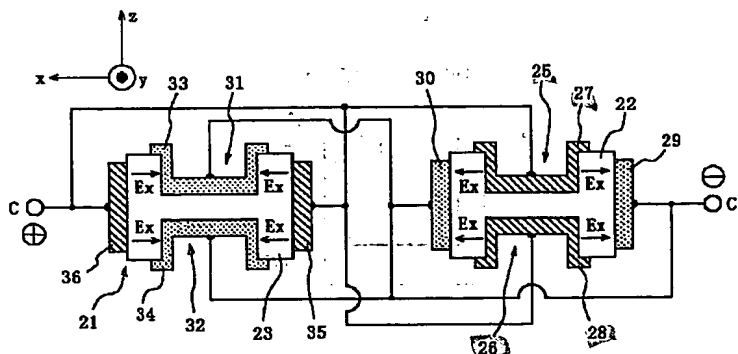
【図2】



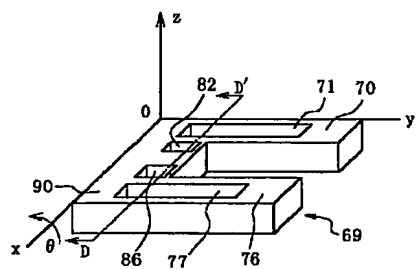
【図4】



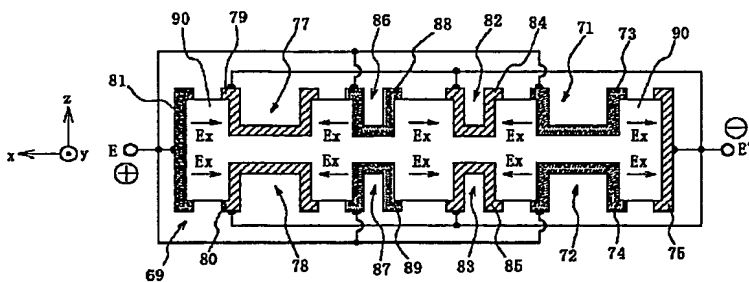
【図3】



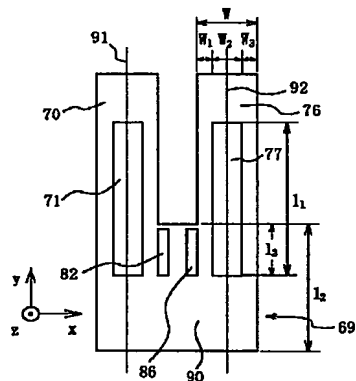
【図5】



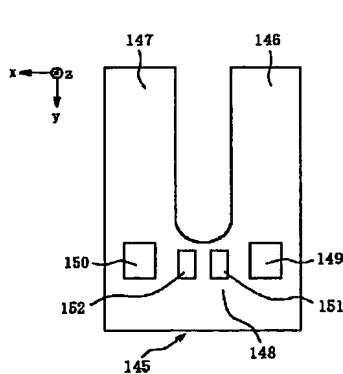
【図6】



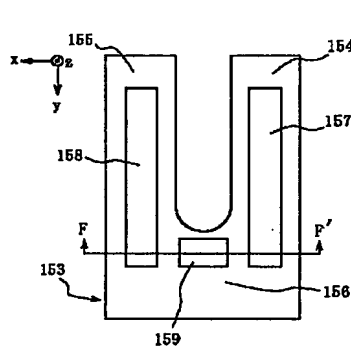
【図7】



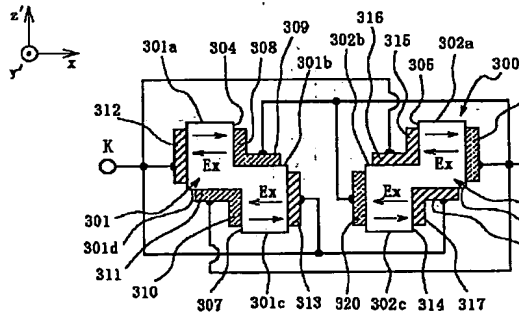
【図8】



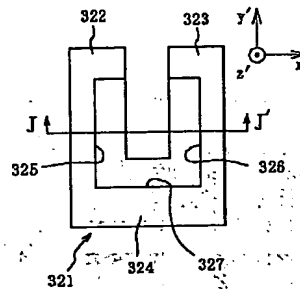
【図9】



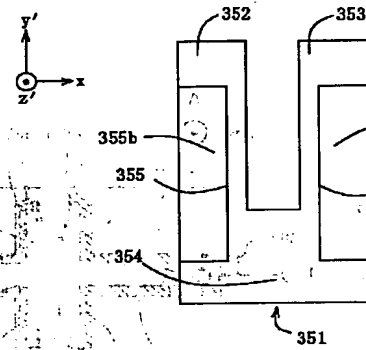
【図13】



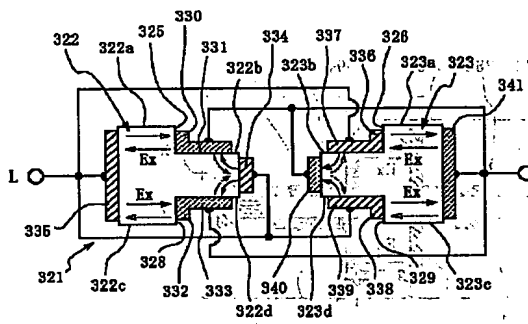
【図15】



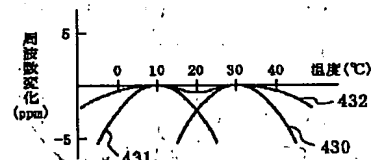
【図17】



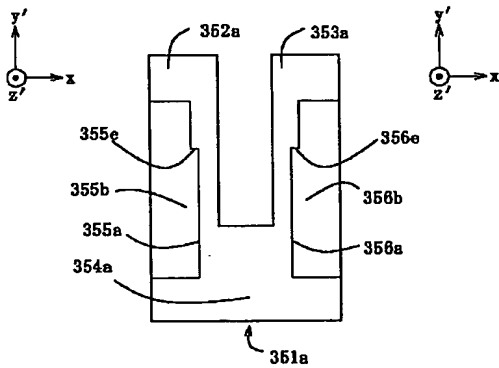
【図16】



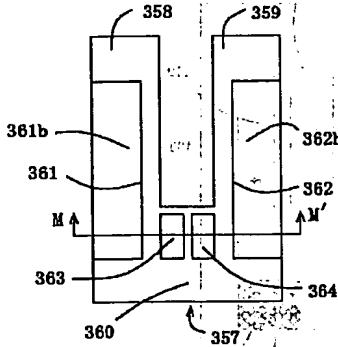
【図25】



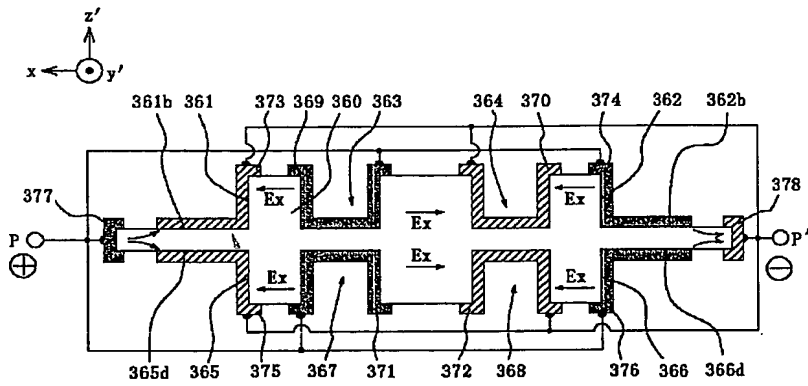
【図18】



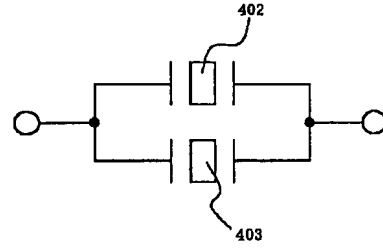
【図19】



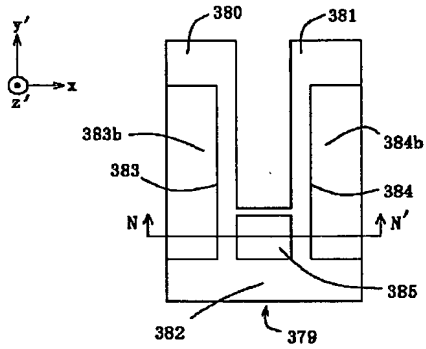
【図20】



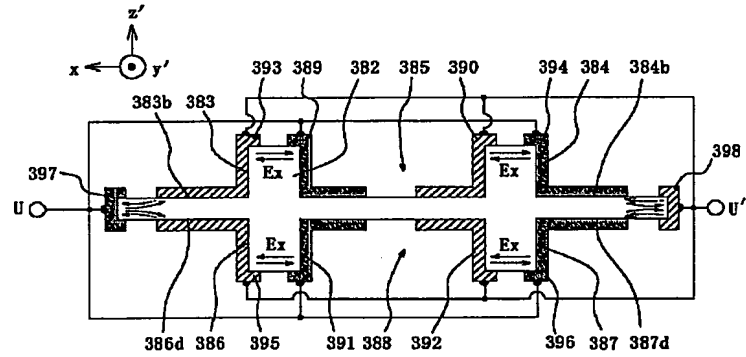
【図24】



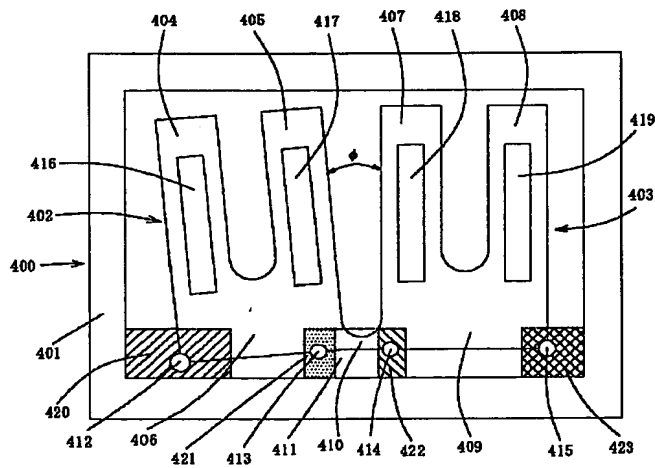
【図21】



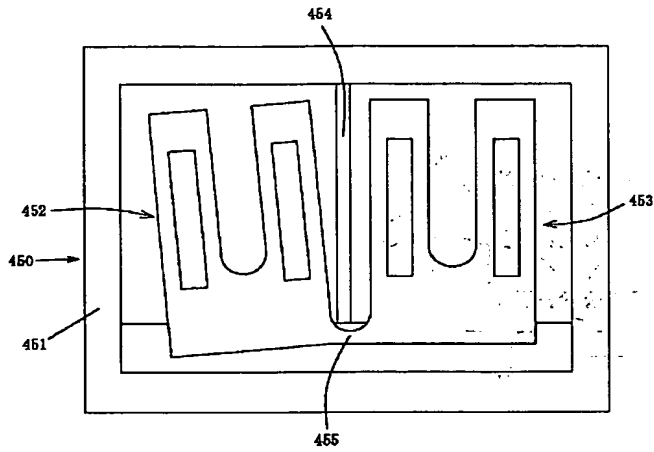
【図22】



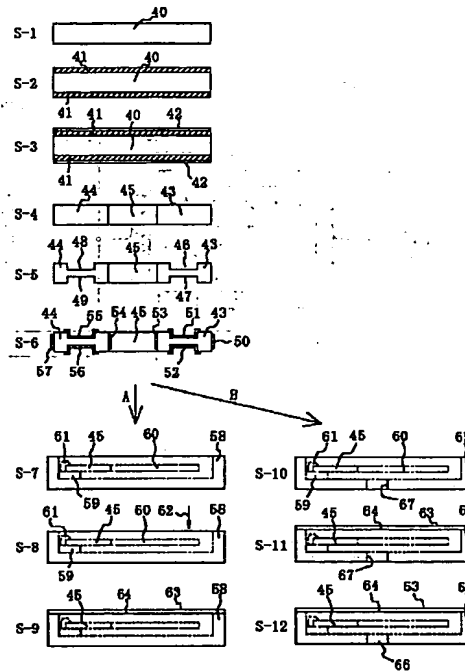
【図23】



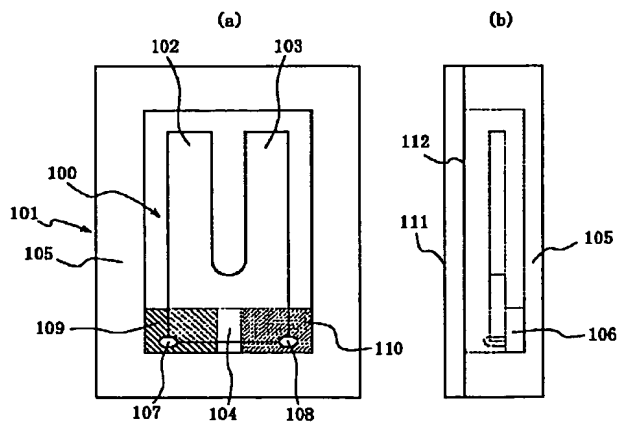
【図 26】



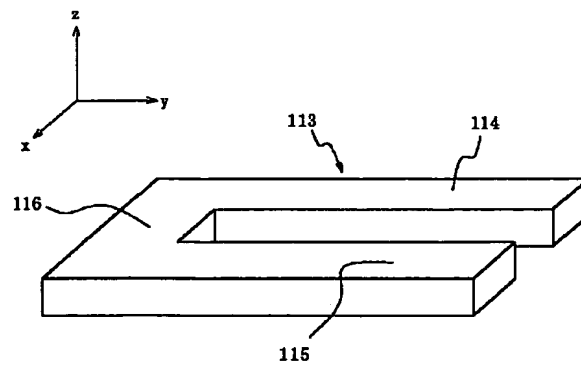
【図 27】



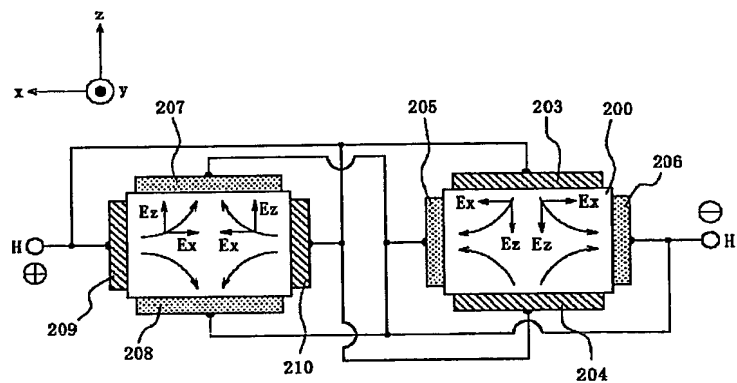
【図 28】



【図 29】



【図 30】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H03H 9/10

識別記号

F I

H01L 41/18

テーマコード (参考)

101A

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載
 【部門区分】第7部門第3区分
 【発行日】平成16年10月14日(2004.10.14)

【公開番号】特開2003-204240(P2003-204240A)
 【公開日】平成15年7月18日(2003.7.18)
 【出願番号】特願2002-60827(P2002-60827)
 【国際特許分類第7版】

H 0 3 H 9/19

H 0 1 L 41/09

H 0 1 L 41/18

H 0 1 L 41/22

H 0 3 H 13/04

H 0 3 H 9/10

【F I】特許請求の範囲は、請求項1に記載の如くである。

H 0 3 H 9/19

H 0 3 H 13/04

H 0 3 H 9/10

H 0 1 L 41/08

H 0 1 L 41/22

H 0 1 L 41/18

【手続補正書】を提出した。特許請求の範囲は、請求項1に記載の如くである。
 【提出日】平成15年10月6日(2003.10.6)

【手続補正1】を提出した。特許請求の範囲は、請求項1に記載の如くである。

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】(以下、明細書の補正内容を記載する。)

【特許請求の範囲】(以下、特許請求の範囲を記載する。)

【請求項1】水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースとを蓋とを具えて構成される水晶ユニットであって、前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて、屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が、接着剤又は半田によって前記ケースの固定部材に固定されており、前記ケースと前記蓋は接合部材を用いて接合され、前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の側面に電極が配置され、前記側面の電極に対抗して位置するように、極性の異なる電極が前記音叉腕の溝に配置されている事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項2】前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の幅方向には、前記2個の段差部には同極性の異なる電極が配置され、前記各電極を対抗する側面に配置された電極は極性が異なる事を特徴とする請求項1に記載の水晶ユニット。

【請求項3】前記水晶振動子は、複数の水晶振動子が同一の水晶ユニット内に収納されており、その中の少なくとも1個が音叉型屈曲水晶振動子である事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項4】前記水晶振動子は、同一の水晶ユニット内には2個の振動モードの異なる振動子が収納され、1個の水晶振動子は幅と厚みと長さとを有する音叉腕と音叉基部とを具えて構成され、屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕の一端部は音叉基部に接続され、他端部は自由である音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を具えて構成され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕と前記音叉基部とはエッチング法によって

一体に形成されていて、第1音叉腕と第2音叉腕の上下面にはそれぞれ厚みの方向に対抗して溝が設けられ、前記溝は第1音叉腕と第2音叉腕の上下面に各々1個の溝が設けられ、各々の溝には第1音叉腕の溝の電極と第2音叉腕の溝の電極との極性が異なる電極が配置されると共に、前記溝の電極と対抗して配置された音叉腕の側面の電極とは極性が異なる2電極端子を構成し、前記2電極端子の内、1電極端子は第1音叉腕の上下面の溝に配置された電極と第2音叉腕の両側面に配置された電極から構成され、且つ、上下面の溝に配置された前記電極と両側面に配置された前記電極とが接続され、他の1電極端子は第1音叉腕の両側面に配置された電極と第2音叉腕の上下面の溝に配置された電極から構成され、且つ、両側面に配置された前記電極と上下面の溝に配置された前記電極とが接続されていて、前記2個の振動子の間には仕切りが設けられている事を特徴とする請求項3に記載の水晶ユニット。

【請求項5】

水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットで、前記水晶振動子は幅と厚みと長さとを有する音叉腕と音叉基部とを具えて構成され、屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕の一端部は音叉基部に接続され、他端部は自由である音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を具えて構成され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕と前記音叉基部とはエッチング法によって一体に形成されていて、第1音叉腕と第2音叉腕の上下面にはそれぞれ厚みの方向に対抗して溝が設けられ、前記溝は第1音叉腕と第2音叉腕の上下面に各々1個の溝が設けられ、各々の溝には第1音叉腕の溝の電極と第2音叉腕の溝の電極との極性が異なる電極が配置されると共に、前記溝の電極と対抗して配置された音叉腕の側面の電極とは極性が異なる2電極端子を構成し、前記2電極端子の内、1電極端子は第1音叉腕の上下面の溝に配置された電極と第2音叉腕の両側面に配置された電極から構成され、且つ、上下面の溝に配置された前記電極と両側面に配置された前記電極とが接続され、他の1電極端子は第1音叉腕の両側面に配置された電極と第2音叉腕の上下面の溝に配置された電極から構成され、且つ、両側面に配置された前記電極と上下面の溝に配置された前記電極とが接続されていて、前記2電極端子に直流電圧を印加したときに、前記第1音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側に存在する音叉腕の内側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向と、前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側に存在する音叉腕の内側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向とが同じで、更に、前記第1音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側と反対の位置に存在する音叉腕の外側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向と、前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側と反対の位置に存在する音叉腕の外側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向とが同じで、かつ、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の内側に発生する電界の方向と、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の外側に発生する電界の方向とは互いに方向が反対で、前記電界の方向は大略x軸（電気軸）の方向に一致し、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕のそれぞれ厚み方向に対抗して設けられた溝に配置された電極の、対抗する溝電極と溝電極との間には前記溝電極に対して垂直に発生する電界が厚み方向に存在しないように電極が配置され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕は前記2電極端子に印加された交番電圧によって逆相の屈曲モードで振動し、更に、音叉腕に生ずる慣性モーメントが大きくなるように、音叉腕の上下面に設けられた各々1個の溝の内、少なくとも1個の溝幅 W_2 は部分幅 W_1 、 W_3 と等しいか、又は部分幅 W_1 、 W_3 より大きくなるように形成され、かつ、少なくとも1個の溝幅 W_2 と音叉腕幅 W との比 (W_2/W) が、0.35～0.85の範囲内にあり、前記溝の厚み t_1 と音叉腕の厚み t との比 (t_1/t) が、0.05～0.79の範囲内にある音叉型屈曲水晶振動子を具えて構成されている事を特徴とする水晶ユニット。

【請求項6】

音叉腕、又は音叉腕と音叉基部に設けられた溝の長さ l_1 と音叉型屈曲水晶振動子の全長 l との比 (l_1 / l) が、 $0.2 \sim 0.68$ の範囲内にある事を特徴とする請求項 5 に記載の水晶ユニット。

【請求項 7】

音叉腕の段差部は音叉腕の長さ方向に階段部を有するか、又は分割されている事を特徴とする請求項 5、又は請求項 6 に記載の水晶ユニット。

【請求項 8】

音叉型屈曲水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットの製造方法で、
水晶ウエハに音叉腕と音叉基部とを具えて構成される音叉形状を形成する工程と、
音叉腕、又は音叉腕と音叉基部に溝を設ける工程と、
溝の側面とその溝の側面に対抗する音叉腕の側面に互いに異なる極性を有する電極を配置する工程、と
音叉基部をケースの固定部に接着剤又は半田にて固定する工程と、
周波数を調整する工程と、
ケースと蓋とを接合する工程と、を有することを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項 9】

ケースと蓋とを接合する工程の後、さらに前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整の後、前記ケースの穴を真空中で封止する工程を有することを特徴とする請求項 8 に記載の水晶ユニットの製造方法。

【請求項 10】

音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止した後、さらに、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整する工程を有することを特徴とする請求項 8、又は請求項 9 に記載の水晶ユニットの製造方法。

【請求項 11】

音叉形状と音叉腕に設けられる溝は別々の工程によって形成され、音叉形状を形成した後に、音叉腕に溝を形成する事を特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法。

【請求項 12】

音叉形状と音叉腕に設けられる溝は別々の工程によって形成され、溝を形成した後に、音叉形状を形成する事を特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法。

【請求項 13】

音叉形状と音叉腕に設けられる溝は同時の工程によって形成される事を特徴とする請求項 8 から請求項 10 のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

即ち、本発明の水晶ユニットの第 1 の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットで、前記ケース内には前記水晶振動子として、音叉腕と音叉基部とが一体に形成されて屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子が接着剤又は半田によって前記ケースの固定部に固定されていて、前記ケースと前記蓋は接合部材を用いて接合され、前記音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の側面に電極が配置され、前記側面の電極に対抗して位置するように極性の異なる電極が前記音叉腕の溝に配置されている水晶ユニットである。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】 0 0 0 9

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【0 0 0 9】

本発明の水晶ユニットの第2の態様は、各音叉腕の上下面の幅方向には各々2個の段差部が設けられ、前記2個の段差部には同極となる電極が配置され、前記各電極と対抗する側面に配置された電極は極性が異なる第1の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正4】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 1 0

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【0 0 1 0】

本発明の水晶ユニットの第3の態様は、複数の水晶振動子が同一の水晶ユニット内に収納されていて、その中の少なくとも1個が音叉型屈曲水晶振動子である水晶ユニットである。

【手続補正5】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 1 1

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【0 0 1 1】

本発明の水晶ユニットの第4の態様は、同一の水晶ユニット内には2個の振動モードの異なる振動子が収納され、1個の水晶振動子は幅と厚みと長さとを有する音叉腕と音叉基部とを具えて構成され、屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕の一端部は音叉基部に接続され、他端部は自由である音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を具えて構成され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕と前記音叉基部とはエッチング法によって一体に形成されていて、第1音叉腕と第2音叉腕の上下面にはそれぞれ厚みの方向に対抗して溝が設けられ、前記溝は第1音叉腕と第2音叉腕の上下面に各々1個の溝が設けられ、各々の溝には第1音叉腕の溝の電極と第2音叉腕の溝の電極との極性が異なる電極が配置されると共に、前記溝の電極と対抗して配置された音叉腕の側面の電極とは極性が異なる2電極端子を構成し、前記2電極端子の内、1電極端子は第1音叉腕の上下面の溝に配置された電極と第2音叉腕の両側面に配置された電極から構成され、且つ、上下面の溝に配置された前記電極と両側面に配置された前記電極とが接続され、他の1電極端子は第1音叉腕の両側面に配置された電極と第2音叉腕の上下面の溝に配置された電極から構成され、且つ、両側面に配置された前記電極と上下面の溝に配置された前記電極とが接続されていて、前記2個の振動子の間には仕切りが設けられている第3の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正6】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 0 1 2

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【0 0 1 2】

本発明の水晶ユニットの第5の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットで、前記水晶振動子は幅と厚みと長さとを有する音叉腕と音叉基部とを具えて構成され、屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕の一端部は音叉基部に接続され、他端部は自由である音叉型屈曲水晶振動子で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を具えて構成され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕と前記音叉基部とはエッチング法によって一体に形成されていて、第1

音叉腕と第2音叉腕の上下面にはそれぞれ厚みの方向に対抗して溝が設けられ、前記溝は第1音叉腕と第2音叉腕の上下面に各々1個の溝が設けられ、各々の溝には第1音叉腕の溝の電極と第2音叉腕の溝の電極との極性が異なる電極が配置されると共に、前記溝の電極と対抗して配置された音叉腕の側面の電極とは極性が異なる2電極端子を構成し、前記2電極端子の内、1電極端子は第1音叉腕の上下面の溝に配置された電極と第2音叉腕の両側面に配置された電極から構成され、且つ、上下面の溝に配置された前記電極と両側面に配置された前記電極とが接続され、他の1電極端子は第1音叉腕の両側面に配置された電極と第2音叉腕の上下面の溝に配置された電極から構成され、且つ、両側面に配置された前記電極と上下面の溝に配置された前記電極とが接続されていて、前記2電極端子に直流電圧を印加したときに、前記第1音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側に存在する音叉腕の内側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向と、前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側に存在する音叉腕の内側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向とが同じで、更に、前記第1音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側と反対の位置に存在する音叉腕の外側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向と、前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の叉部側と反対の位置に存在する音叉腕の外側側面の電極と、その電極に対抗して配置された溝側面の電極との間に前記電極に垂直に発生する電界の方向とが同じで、かつ、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の内側に発生する電界の方向と、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の中立線に対して音叉の外側に発生する電界の方向とは互いに方向が反対で、前記電界の方向は大略x軸（電気軸）の方向に一致し、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕のそれぞれ厚み方向に対抗して設けられた溝に配置された電極の、対抗する溝電極と溝電極との間には前記溝電極に対して垂直に発生する電界が厚み方向に存在しないように電極が配置され、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕は前記2電極端子に印加された交番電圧によって逆相の屈曲モードで振動し、更に、音叉腕に生ずる慣性モーメントが大きくなるように、音叉腕の上下面に設けられた各々1個の溝の内、少なくとも1個の溝幅 W_2 は部分幅 W_1 、 W_3 と等しいか、又は部分幅 W_1 、 W_3 より大きくするように形成され、かつ、少なくとも1個の溝幅 W_2 と音叉腕幅 W との比(W_2/W)が、0.35~0.85の範囲内にあり、前記溝の厚み t_1 と音叉腕の厚み t との比(t_1/t)が、0.05~0.79の範囲内にある音叉型屈曲水晶振動子を具えて構成されている水晶ユニットである。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0013】

なお、上記第5の態様において、前記音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に各々1個の溝を設け、前記溝が音叉基部にまで延在する振動子を具えて水晶ユニットを構成しても良い。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0014】

本発明の水晶ユニットの第6の態様は、音叉腕、又は音叉腕と音叉基部に設けられた溝の長さ l_1 と音叉型屈曲水晶振動子の全長 l との比(l_1/l)が、0.2~0.68の範囲内にある第5の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0015
【補正方法】変更
【補正の内容】

【0015】

本発明の水晶ユニットの第7の態様は、音叉腕の段差部は音叉腕の長さ方向に階段部を有するか、又は分割されている第5の態様又は第6の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正10】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0016
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0016】

なお、上記第3の態様において、2個以上の音叉型屈曲水晶振動子が音叉基部で接続部を介して接続され、且つ、一体に形成されている水晶ユニットを構成しても良い。

【手続補正11】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0017
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0017】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第1の態様は、音叉型屈曲水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、蓋とを具えて構成される水晶ユニットの製造方法で、水晶ウエハに音叉腕と音叉基部とを具えて構成される音叉形状を形成する工程と、音叉腕、又は音叉腕と音叉基部とに溝を設ける工程と、溝の側面とその溝の側面に対抗する音叉腕の側面に互いに異なる極性を有する電極を配置する工程、と音叉基部をケースの固定部に接着剤又は半田にて固定する工程と、周波数を調整する工程と、ケースと蓋とを接合する工程と、を有する水晶ユニットの製造方法である。

【手続補正12】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0018
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0018】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第2の態様は、ケースと蓋とを接合する工程の後、さらに前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整の後、前記ケースの穴を真空中で封止する工程を有する第1の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正13】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0019
【補正方法】変更
【補正の内容】
【0019】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第3の態様は、音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止した後、さらに、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数をレーザにて調整する工程を有する第1の態様又は第2の態様に記載の水晶ユニットである。

【手続補正14】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】0020
【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第4の態様は、音叉形状と音叉腕に設けられる溝は別々の工程によって形成され、音叉形状を形成した後に、音叉腕に溝を形成する第1の態様から第3の態様のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法である。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0021

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0021】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第5の態様は、音叉形状と音叉腕に設けられる溝は別々の工程によって形成され、溝を形成した後に、音叉形状を形成する第1の態様から第3の態様のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法である。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0022

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0022】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第6の態様は、音叉形状と音叉腕に設けられる溝は同時の工程によって形成される第1の態様から第3の態様のいずれかに記載の水晶ユニットの製造方法である。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0039】

これに対して、溝25および溝31の長さ l_1 については、溝25、31が、音叉腕22、23から長さ l_2 の音叉基部24にまで延在し、その音叉基部24に延在する溝の長さが l_1 となるような寸法とされている。それ故、音叉腕22、23に設けられた溝の長さは、 $(l_1 - l_2)$ で与えられ、等価直列抵抗 R_1 の小さな振動子を得るために、溝の長さ $(l_1 - l_2)$ と音叉腕の長さとの比が0.4~0.7の範囲内の値を有する。更に、音叉基部の歪量を大きくして、 R_1 を小さくし、且つ、支持、固定によるエネルギー漏れのない振動子を得るには音叉基部の溝の長さ l_1 と音叉基部の長さ l_2 との比が0.04~0.78の範囲内の値になるように溝25、31が構成される。なお、本実施例では、溝の長さ l_1 の側面全部に電極が配置されているが、側面の電極が溝の長さ l_1 より短く配置されている時には、 l_1 は電極の長さと同じ長さとする。また、音叉型屈曲水晶振動子21の全長 l は要求される周波数や収納容器の大きさなどから決定される。と同時に、基本波モードで振動する良好な音叉型屈曲水晶振動子を得るためには、以下で説明するように、溝の長さ l_1 と全長 l との間には密接な関係が存在する。

THIS PAGE BLANK (USPTO)